

タンカーによる大規模油流出の防止対策に関する研究動向

油流出防止構造プロジェクト *川野 始、平方 勝、遠藤久芳

1. はじめに

ナホトカ号やエリカ号、プレステージ号など最近のタンカー重大事故は、荷油流出による深刻な海洋汚染を惹き起こし、海上安全と環境保全のための国際的な取組み強化の必要性を改めて強く喚起した。IMO(国際海事機関)では、タンカーからの大規模油流出を防止する観点から、新造タンカーのダブルハル化・既存シングルハルタンカーのフェーズアウト前倒し・船体の検査強化・PSC(ポートステイトコントロール)強化・船体の保守管理の厳格化など、次々と対策規制がとられてきている。

このような社会的・国際的な趨勢を踏まえて、当所では平成13年度より国土交通省からの委託研究として、万一衝突した場合でも衝突されたタンカーの損傷を軽減できる「緩衝型船首構造」を開発する研究や、新構造としてのダブルハルタンカー構造の経年劣化の特徴を調べて船体検査等に反映する研究を推進展開中である。昨今のIMO国際基準の趨勢を踏まえつつ、現在の研究動向を報告するとともに、国際基準化を目差した今後の研究展開についても報告する。

2. 大規模油流出事故の分析と国際基準の動向(構造強度の視点から)

タンカーによる石油輸送は、資源に乏しく製品の輸出による付加価値の創出で生きる我が国経済の最前線を担ってきた。大量海上輸送の花形として昭和40年代にVLCC等大型タンカーが大量建造されたが、石油海上輸送の著しい増大に伴い、これら船舶の海難による油流出や運航時の油や汚水の排出による海洋汚染が国際的な問題となりMARPOL条約⁽¹⁾が締結された。タンカー構造に関わるMARPOL73/78条約付属書Iの主要な来歴を表-1に掲げ、表-1中の下線部により、タンク配置など構造デザインに直接的に関わる改定があったことを示している。

特に、1992年のMARPOL73/78改正で表-1. IMOタンカー構造基準の主なる来歴

は、第13F規則”新造タンカーの二重船殻化”および第13G規則”既存船の対策要件”が取り決められた。後者を受けて作成された国際船級協会連合(IACS)の統一規則をベースとして、検査強化プログラムESP(Enhanced Survey Program)がIMO総会決議A.744(18)にて採択され、引続くSOLAS第XI章第2規則の発効により、1996

| | |
|-------|---|
| 1971: | ・タンクの大きさ制限(衝突座礁における流出油量の制限) |
| 1973: | ・油排出監視制御装置(排出基準ppmへの合致を確保する) ・分離バラストタンクSBT(運航時のバラスト水廃棄による汚染を無くす) ・損傷時復原性(衝突及び座礁事故後に船の浮力を確保する) |
| 1978: | ・ <u>MARPOL73/78 13E, SBTの防動的配置</u> (事故後の流出油量を減少する) ・イネートガス装置IGS(爆発を防止する) ・原油洗浄システムCOW(運航時の汚染を減少する) |
| 1992: | ・ <u>MARPOL73/78 13E</u> (新造タンカーの二重船殻化の要求) ・同13G(既存船の対策要件) |

年1月1日から強制化されるに至った。ESPでは、船体検査の事前計画・提出の重視だけでなく、精密検査(Close-up Survey)概念の導入と実施、詳細な板厚計測箇所の規定と検査官立会下での計測実施などを求めている。定期検査時にESPが実施されるようになって、船体の大規模損傷に繋がるき裂の早期発見など一定の明確な効果があったと

認識されており、例えばクロスタイ基部が半ば切断状態で発見されること等はほぼ無くなったと言われている。

他方、表-2は大規模油流出を起こしたタンカー事故の主な来歴を示すが、上述の検査強化プログラム強制化にも拘わらず、残念ながら、ナホトカ号・エリカ号・プレステージ号とタンカー折損事故による大規模油流出事故が後を絶たないのも事実である。これら三大折損事故(ナホトカ号、エリカ号、プレステージ号)の共通的な要因・現象として、事故調査報告書²⁾³⁾に基づく調査等により、下記を指摘しておきたい(表-3参照)。

- 1) 船齢25年を超える老齢船である。
- 2) 冬季の気象海象が厳しい海域を、満載状態にて航行時に、事故を起こしている。
- 3) 事故時には、大規模な折損に至る直前に、甲板構造が圧縮力に堪えられず座屈、船側外板が脱落または座屈、折損断面の近傍に比較的大きなクラック(あるいは溶接欠陥)が存在、の一つまたは複数が確認されている。
- 4) 折損した箇所と、事故以前に施された修繕箇所が、位置的に比較的近い。
- 5) 事故は、定期(中間)検査後1年以内に生じている。

このうち、1)から(衰耗限度との比較が一部なされており)相当な腐食衰耗が進行していたことが推察される。また4)5)は(場合によっては3)を含めて)、現行ESP規定に不足する要素があるか規定の厳格遵守に疑問があることを示唆しているもの、と考えられる。これらは冒頭で述べた推進中研究の重要課題として捉えている。

表-3. 三大折損事故の相互比較

| | 事故船 | ナホトカ | エリカ | プレステージ |
|--------|-----------|-------------------------------|---|---|
| 事故概要 | 事故年月 | 1997年1月 | 1999年12月 | 2002年11月 |
| | 船種 | ロシア | マルタ | バハマ |
| | 船級 | RS | RINA | ABS |
| | 建造年 | 1976年 | 1975年 | 1978年 |
| | 船齢 | 21 | 24 | 24 |
| 船体構造 | L×B×D | 177.25×22.4×12.31 | 184.45×22×11 | 243.5×34.4×18.7 |
| | 総重量 | 26,000 t | 31,283 t | 81,589 t |
| 事故当時状況 | 積荷内容 | 重油 | 重油 | 重油 |
| | デッキロングの割離 | 確認(14本中9本) | 確認 | 不明 |
| | 甲板座屈 | SS 6.9 (FR 1SS) 近傍 | NO. 1右舷98T前縁付近 | FR. 31 (NO. 24TとNO. 39BTの間の88D) 座屈(確認) |
| | クラックの有無 | 船底部に少なくとも4箇所(他) | デッキ上: 箇所 (NO. 1右舷98T前縁付近) 確認 | FR. 31 (NO. 24TとNO. 39BTの間の88D) に交差する船側縦通ロングで確認 |
| | 船側の状況 | 甲板と同時に船底上部が座屈(計算で確認) | 船側外板 (NO. 1右舷98T本縁上) 脱落 | 船側外板上部が脱落 |
| | 折損箇所 | SS 6.9 (FR 1SS) 近傍 | NO. 1右舷98T付近 | 不明 |
| | 腐食状況 | 甲板縦通筋の隅角溶接部が不健全な状態にあった(事故後検査) | NO. 1, NO. 4右舷98Tは"Fair Condition"と診断(1998年)。甲板の腐食は悪しかった。 | 全ての98Tは、"Fair"と診断(2002年) |

大規模油流出を伴うタンカー事故の原因には、表-2右端欄に示すように、大別して3つある。即ち、上記の折損・崩壊によるもの以外に、衝突・座礁によるもの、火災・爆発に

よるものがある。このうち主に構造強度に係わるものは前2者であり、衝突に起因して大量油流出に至ったタンカー事故も少なくない点が読取れる。特に、表-4では、1978年～2000年間で油流出量が多かった衝突事故の来歴を掲げている。また、ダブルハルタンカー(以下、DHタンカー)が衝突されて大量油流出(原油約2700トン)を起こした最初の事故例となった、2001年3月発生したBaltic Carrier号の事故写真を図-1に示した。これら衝突に起因する油流出に対しても、万一事故時にその流出規模を低減する或いは阻止する見地から、当所研究課題として推進しており後述する。

表-4. 衝突事故に起因する油流出事故例
(1978～2000年)

| 油流出量 (Ton) | 船名 | Gross Ton | 発生年月 | 衝突船舶種 | 事故発生地 | 事故結果 |
|------------|------------------|-----------|----------|---------------|--------------|---------------|
| 270,000 | ATLANTIC EMPRESS | 120,290 | *1978.07 | Tanker | Venezuela沖 | 火災爆発、後日沈没 |
| 100,000 | INDEPENDENTA | 80,690 | 1978.11 | General Cargo | Beop onus | 火災爆発分離 |
| 70,000 | NOVA | 109,290 | 1985.12 | Tanker | Persia湾 | 小破 |
| 47,000 | BURMAH AGATE | 32,285 | 1978.11 | Bulk Car | Houston | 火災爆発 |
| 33,000 | MAERSK NAVIGATOR | 142,488 | 1983.01 | Tanker | Somatra沖 | 火災 |
| 25,000 | EVOIKOS | 75,428 | 1997.10 | Tanker | Singapore沖 | 船体大破 |
| 16,000 | SEKI | 153,504 | 1994.02 | Tanker | Abu Dhabi | No.1Hold破口 |
| 15,000 | AEGEAN CAPTAIN | 92,881 | *1979.07 | Tanker | Venezuela沖 | 火災爆発 |
| 15,000 | DA QING 239 | 10,885 | 1983.10 | Dry Cargo | Hong Kong 北東 | 大破口、沈没 |
| 11,000 | FORTUNE | 47,148 | 1979.04 | 艦艇 | Singapore沖 | No.4.5Hold破口 |
| 10,000 | SEA SPIRIT | 48,664 | 1990.08 | LPG Tan | Gibral | No.8Tan口、燃料油漏 |



図-1. 被衝突DHタンカー”Baltic Carrier”
(2001年3月、デンマーク沖バルチック海)

次に、タンカー構造に係わる最近の国際基準の動向について要点的に触れておきたい。タンカー構造に対する国際的な規制として最も影響が大きく重要なステップは、前述の通り、1992年のMARPOL73/78議定書改定¹⁾による新造タンカー二重船殻の義務化(第13F規則)と現存シングルハルタンカー(以下、SHタンカー)に対する対策要件を定めた規定(第13G規則)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事故による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。表-5に掲げるように、深刻な油流出事故が起こる度に波状的に改定強化される経過をたどっており、他方では、基本の方向性は是とするものの実効スピードや国際的な統一性(地域主義の排除)など運用上の問題について、引続き熱い議論の過程にある。特に、本年7月のMEPC49において決着が得られていない重質油輸送タンカー規制(表-5の下段)に関しては、重質油の定

表-5. 現存SHタンカーのフェーズアウト

| | | エリカ改定 (MEPC48, April 2001) | プレスティア改定案 (MEPC49, July 2002) |
|--------|--|---|--|
| カテゴリー1 | 270DWT以上の Pre-MARPOL船 (1982年以前の建造船が対象) | ・2003年から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を実施 | ・2005年までにフェーズアウト ・CASは無し |
| カテゴリー2 | 270DWT以上の MARPOL船 (1982～1989年の建造船が対象) | ・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を実施 | ・2005年から2010年にかけて順次フェーズアウト ・最終使用期限は2010年 ・2008年を超えて使用する場合、CASを実施 |
| カテゴリー3 | 5千～270DWTの Pre-MARPOL船 | ・2003年以降、船舶に使い、順次フェーズアウト ・最終使用期限は2015年 | ・2005年から2010年にかけて順次フェーズアウト ・最終使用期限は2010年 ・2005年を超えて使用する場合、CASを実施 |
| 案1 | 重質油輸送タンカー | 5千DWT以上 | ・2005年(条約発効時)に使用禁止 ・2008年までにフェーズアウト |
| | | 600DWT以上 5千DWT未満 | |
| 案2 | 重質油輸送タンカー | 5千DWT以上 | ・2010年までに順次フェーズアウト ・船齢15年を超えて使用する場合、CASを実施(最終使用期限2015年) ・2012年までに順次フェーズアウト |
| | | 600DWT以上 5千DWT未満 | |

注: (1) MARPOL 船: MARPOL 73/78 附属書の 13(SBT), 13B(COWI), 13E(SBT/PL) 及び 18[G] (SBT,COWI 関連)で規定されている船舶のための要件を満たすもの。
Pre-MARPOL 船: 以上の要件を満たしていないもの。
(2) CAS: Condition Assessment Scheme 船舶の状態を評価する新たな検査方式。

義や内航 / 外航の適用範囲などの問題が懸案として残されている。

現存SHタンカーのフェーズアウト即ちDHタンカーへの新替え促進に関連する国際基準の最近動向に触れたが、タンカー事故の原因と対策という点に関して、純技術的な視点から述べておきたい。

即ち、DHタンカー構造は、衝突・座礁に際して外板と内殻(縦通隔壁や内底板)から成る二重のバリアーが施された構造であり、従来SHタンカーに比較して、事故時の油流出を防止する能力に格段に優れている。しかし、衝突・座礁ではなく、老齢化に伴う構造劣化によって起こる折損事故すなわち大規模油流出に対しては、DHタンカーとSHタンカー構造は基本的には同等の性能と考えられる。即ち、遠からずDHタンカーが老齢化する時点には、DH化だけでは再び今日と同様な事態に陥る可能性が高い。即ち、老齢船を新造タンカーに替えることにより構造劣化は確かにリセットされる訳であるが、DH化した新しいタンカーが潜在的に有する折損事故の可能性は手付かずのままとも言える。では、老齢化による構造劣化に伴う折損事故を防止する本質的な対策は何かと言えば、原因となる衰耗など構造劣化を的確に捉えた検査仕様の明確化であり、その検査を厳格確実に履行することであり、発見された構造劣化のうち限度を越える構造部分を確実に新替えすることである。この意味から、当面の対策としてSHタンカーのフェーズアウト規制の進展とは別に、タンカー折損による大規模油流出を防止するための本来的な措置対策を提案し国際基準に盛り込むべく推進することは当研究の重要課題と捉えている。

3. プロジェクト研究の概要

3.1 研究の構成

本研究プロジェクトでは、2つの研究テーマ「ダブルハルタンカーの構造の経年劣化に関する研究」と「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」を掲げて⁽⁴⁾、各々プロジェクトチームを組織して推進している。

前者では、DHタンカー構造の高齢化に伴う事故を未然に防止するために、タンカー構造の経年劣化すなわち腐食衰耗や疲労による強度や機能の低下について知見や技術データを収集整理し、DHタンカー特有の事柄を抽出し(後述の魔法瓶効果など)、その影響評価を通じて検査強化プログラム(ESP)に必要な改定を提案することが最終目標である。また、表-5に示したように、現行フェーズアウト策では船体状態評価(CAS)によって船体構造の健全性が著しく損なわれた船を峻別することが求められており、CAS評価手法や裏付け技術データを整備することも研究目標に含まれる。本研究の実施項目としては、DHタンカーの荷重特性と強度評価、経年船の検査手法、DHタンカー経年劣化の診断技術の構築、等から成るが主要な研究成果について次節で詳述する。

後者では、緩衝型船首構造について取り扱う。即ち、表-1に示したように、1992年のMARPOL73/78条約第13F規則(5,000DWT以上の新造タンカー・ダブルハル化)採択により、衝突による油流出事故の減少に大きく貢献してきているが、図-1に示すDHタンカー-Baltic Carrier号の油流出事故のように、被衝突タンカーが二重殻であっても衝突船の運動エネルギーが大きい場合には大規模な油流出事故に成りうる。そこで、ダブルハル化に続く第二の油流出低減策として、衝突時に相手船(=DHタンカー)に与える被害を軽減することを狙った緩衝型船首構造の性能評価と国際基準化を検討している。

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相手船より先に自船船首部が破壊して衝突エネルギーを吸収する緩衝型船首構造に関して、緩衝型船首構造の性能効果を明らかにした上で、必要な技術資料を整備して設計基準化することを目標としており、図-2に示す研究フローに従い推進して

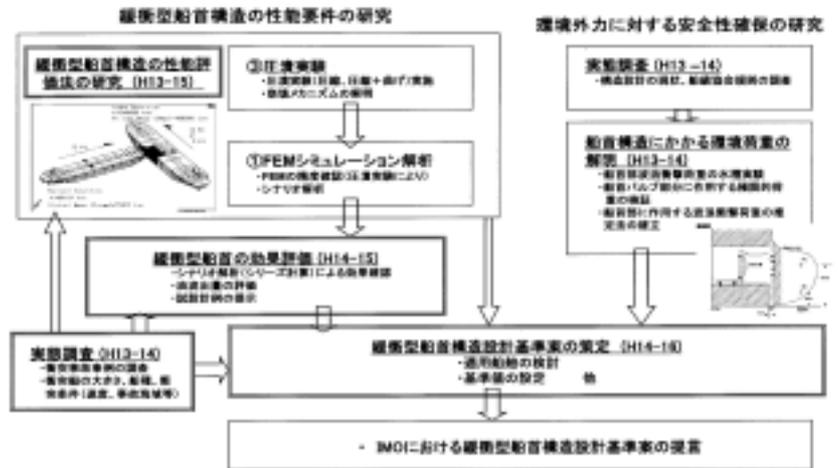


図-2. 緩衝型船首構造の研究フロー

いる。現時点での主要な成果として、緩衝型船首構造の性能評価ならびに環境外力に対する安全性の確保に関するものを3.3節に述べる。

3.2 タンカー構造の経年劣化に関する研究

DHタンカーの魔法瓶効果とその影響評価

DHタンカーの魔法瓶効果とは、魔法瓶に内容物の保温効果があるように、船体断面中のバラスタック・スペースにより同様の効果が想定されることに由来している。即ち、DHタンカーの二重殻部分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、荷油タンク壁面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。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短期間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。また試算例によれば、JP-PG 航路 VLCC の積載時荷油温度が 45 と想定した場合、SHタンカーでは数日で荷油タンク底板の温度が海水温と略等しくなるが、DHタンカーの荷油タンク内底板ではJP帰航時になお約 5~10 だけ高いとの解析結果が得られている。

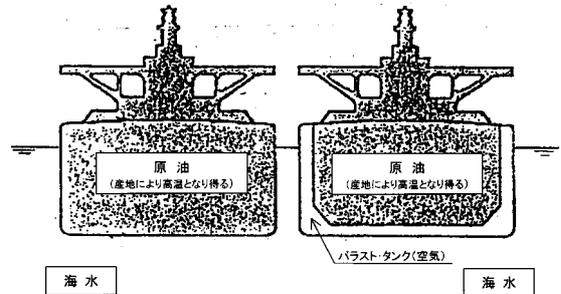


図-3. DHタンカーのバラスタックによる保温効果(模式図)

次に、魔法瓶効果がタンカー構造の腐食に及ぼす影響については、未だ部分的にしかり明らかになっていないが、DHタンカー構造の腐食の特徴について幾つかの知見が既に得られている。日本造船研究協会SR242研究⁵⁾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、と結論付けられている。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不足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おり、当研究でも腐食ピットに関する追加調査を推進中である。

また本研究では、タンカー構造の内でも最も激しい腐食環境の一つである上甲板裏に着目し、腐食速度への温度影響を実験的に調べた⁶⁾(継続中)。腐食ガス雰囲気を再現した二重容器の実験装置(図-4参照)を用いて、実験条件として雰囲気温度を30 40 50 と変化させて鋼材試験片の衰耗速度を測定した。実験結果の一部を図-5に示すが、腐食速度(mm/year, 図中の2nd stage 勾配が試験片の初期条件に依存しない実船対応値)は実験温度の上昇とともに単調に増加するデータ特性が得られた。

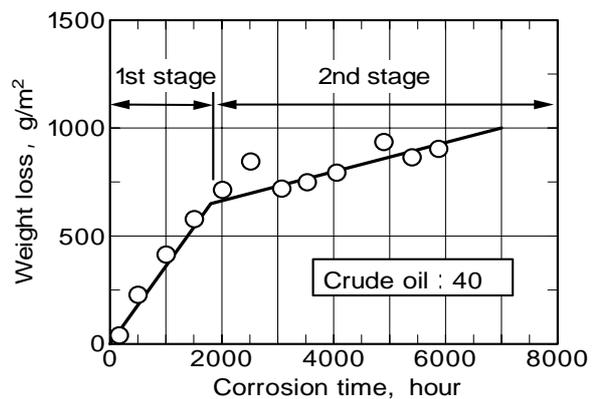
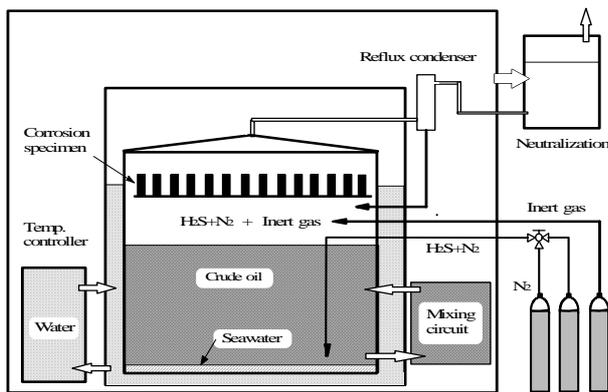


図-4. 腐食速度の再現実験(上甲板裏)

図-5. 再現実験で得た腐食速度データ例

なお、この実験シリーズで得られた腐食速度は、全面腐食(general corrosion)に対応するもので上甲板裏の環境に常時暴露し続けた場合に相当しており、満載状態とバラスト空倉状態が交互に繰返される実船環境とは異なっており速度絶対値の評価については注意を要する。にも拘わらず、DHタンカーの魔法瓶効果により船殻部材がより高い温度条件に晒される場合には、一様腐食の促進要因として作用するものと考えられ、構造劣化を予測する場合には重要なファクターとして考慮する必要があると判断している。

腐食衰耗による縦強度の経年劣化(SH / DHタンカーの比較)

衰耗の進行に伴う縦強度の経年低下について調べた⁷⁾。即ち、タンク環境や部材ごとの衰耗進行モデルをNK腐食データベースに基づく確率モデルとして導き、代表的な構造としてVLCCを対象に、SH / DHタンカー間での縦強度低下の傾向比較など数値シミュレーションにより調査した。また、就航船の縦強度に関してはIMO許容基準(建造時に要求される断面係数の90%以上を維持すること)が既に採択されていることから、この基準値に対する余裕を尺度として適否を判断した。

衰耗進行モデルは、山本による定式化⁸⁾に従い、一定期間(腐食の種生成に必要な期間)を越えて初めて衰耗量が発生するものとし、

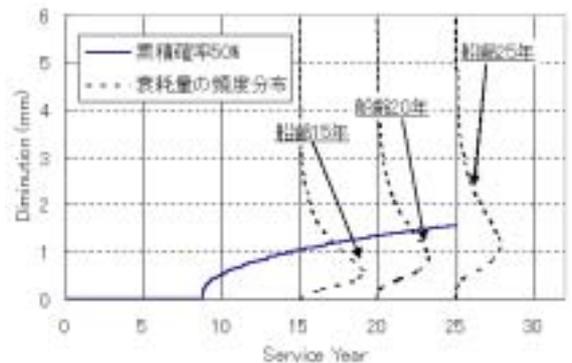
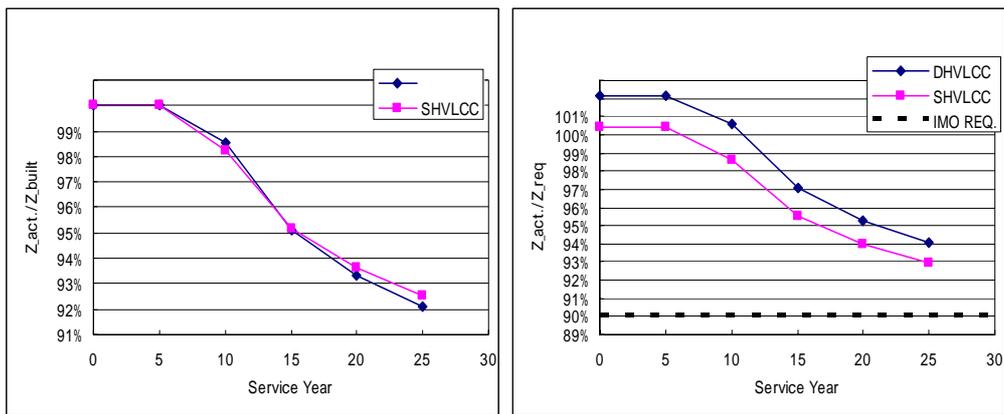


図-6. 腐食進行モデル(上甲板 COT)

図-6に示すように、衰耗量の頻度分布は対数正規分布に従うと仮定した。また、基本的にNK腐食データベースは船級検査時における検査データ記録をもとにしており、就航実績の少ないDHタンカー特有の部材(内底板など)の衰耗モデルは統計的回帰分析にて定めることが出来ず、同質の環境にあると推測される複数のSHタンカー部材データを組合せて類推した。

5年刻みの各船齢における累積確率 50%の衰耗レベル値を用いて、就航年数による船体中央部における断面係数の経年変化を推定した結果が、図-7(a)および(b)である。新造時の縦強度余裕に僅かな差があるものの、SHとDHタンカー縦強度の低下傾向は基本的には同等レベルであることが確かめられた。



(a) 建造時Zdeckにて無次元化 (b) 要求値Zdeckにて無次元化

図-7. 縦強度の経年変化に関する試算結果 (VLCC 対象)

更に、各部材の衰耗進行モデルに従うモンテカルロ法の適用により、仮想的な衰耗状態の多数隻タンカー (解析では 10,000 隻) を想定し、特定船齢のタンカーを母集団とする縦強度レベル(断面係数)の確率分布状況をシミュレーション推定した。船齢 25 年の VLCC を対象にした推定結果が、図-8に掲げられている。図-8では、縦強度の低下割合と各船の上甲板における(平均)衰耗量の相関関係がプロット点の集積として与えられており、点線によって縦強度の確率密度の分布形状が示されている。但し、図-8の解析では板の新替えは無視つまり衰耗が高じても新替えが行なわれない仮定を置いている。図-8の推定結果によれば、例えば

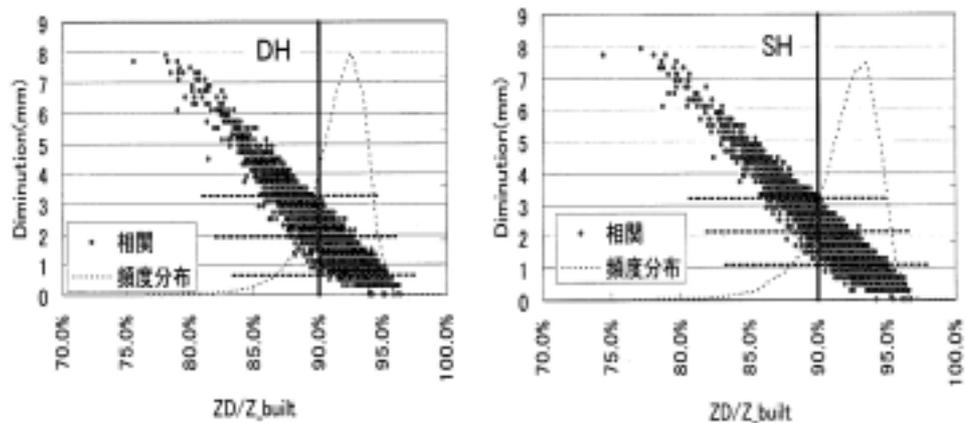


図-8. 船体中央部断面係数と甲板衰耗量の相関 (推定結果)

船齢 25 年 DHタンカーにおける上甲板の板厚衰耗量が平均 2mm であったとすると、当該船齢の断面係数は建造時の 87%から 93%の間にあると見当をつけ得る。この推定手

法は、一様衰耗状態を仮定したもので、上甲板ロンジの剥離影響など重要な要素を無視しているが、著しく縦強度が劣化したサブスタンダード級のタンカーを篩い(フルイ)に掛けて見つけ出す第一次手段としては活用できる可能性があると考えられた。

検査技術の高度化

本研究では、大別して3つのサブテーマを設定して、船体検査における支援技術の高度化を目指している。即ち、超音波厚さ測定に係わるテーマ、疲労クラックの検出法、隅肉溶接部の衰耗を隅肉が存在する反対側の板表面から測定する手法、の3つである。

まず、超音波厚さ測定に関して、腐食した構造部材の表面はどの程度の前処理が必要か省略できるか或いは被測定面に凹凸が存在する場合の測定誤差補正法について調べた⁹⁾。

そして、前処理に関しては、グラインダー処理を省略してもブラシ等により錆を落とせば、腐食鋼板のB1 エコーは十分に検出できることを確かめた。

また、被測定面の凹凸による測定誤差補正法として、探触子と測定面の間にある接触媒質の厚さをSエコー持続時間増加量から導く測定誤差補正法を考案し、実験室において可能性を調べた。

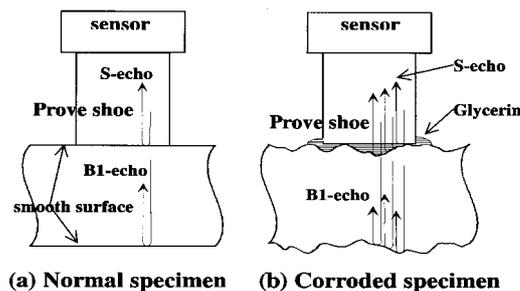


図-9(a) . 測定面の凹凸影響(模式図)

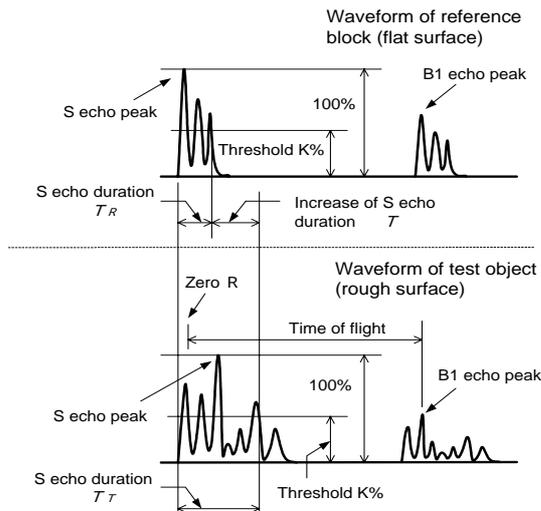


図-9(b) . Sエコー持続時間増加量の定義

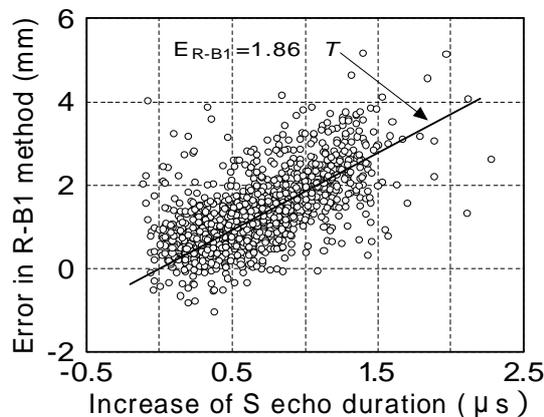


図-9(c) . 測定誤差とSエコー持続時間増加量の相関[R-B1方式]

その結果、Sエコー持続時間による測定誤差補正は、厚さ分布の平均値が0.2mm以内で機械式の測定値と一致し、測定点を多く確保できる場合は有効であることが判った。

次に、疲労クラックの検出に関して、現行の精密検査 close-up survey は目視によって遂行されておりクラック検出精度には限界があると考え、クラック検出用塗料や表面SH波探傷を用いた検出性能の実験や耐候性テストなど基礎実験を実施中である。

また、隅肉溶接部の衰耗測定に関して、本研究では、垂直および斜角探触子の組合せ等により実験室での基礎試験を推進中である。現時点で十分な精度は検証されていないが、既述の通り、上甲板ロンジの剥離を甲板上から非破壊検査ツールを用いて測定する手法は極めて重要であり、折損の可能性を疑うべきレベルの経年タンカーに関して

縦強度を確認するうえでのキー項目でもある。例えば、図-10に模式的に示すが、甲板衰耗(t_D)と隅肉溶接部衰耗(t_W)及びロンジ衰耗(t_L)の相関を実績データから求めて、この実績相関をベースとした甲板上からの隅肉溶接部衰耗の間接測定法は、従来の厚さ測定装置が利用でき、実務的にも極めて有効なものと考えられる。今後とも手法の改良や計測精度の向上に努めてゆく所存である。

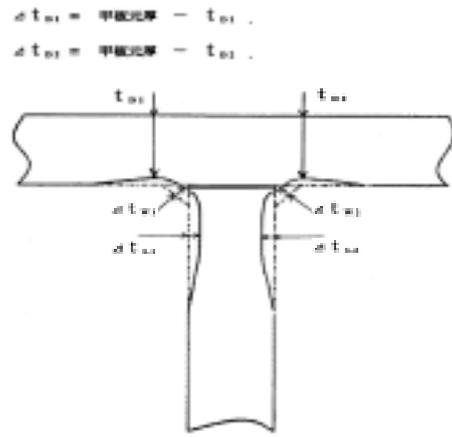


図-10. 甲板 / ロンジの局部衰耗

3.3 緩衝型船首構造に関する研究

本研究では、図-11に示す様に、衝突による油流出の低減策として緩衝型船首をDH化に続く第2策と捉えている。また研究フロー(図-2)の通り、緩衝型船首構造の性能要件を明らかにし、設計基準案の策定およびIMOに提言することを目標としている。用いる解析手段は、有限要素から構成された2船体の衝突時挙動を、相互の流体影響を考慮した船体運動および構造の変形破損プロセスを時系列的に追跡しながら、要素レベルの位置や変形エネルギーの変化を数値的に解析するものである(解析コード:LS/DYNA + MCOL)。以下に、実施項目ごとの研究状況を示す。

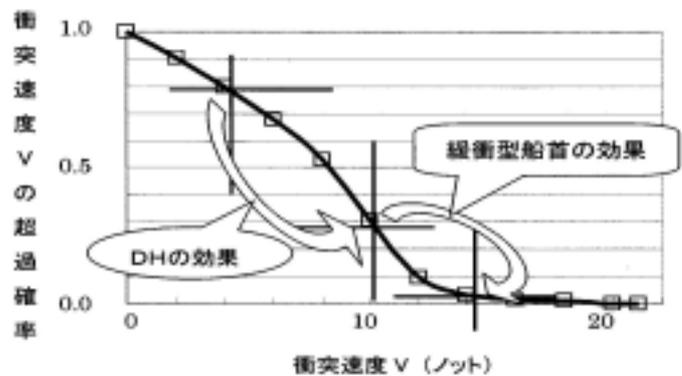


図-11. 油流出事故発生の低減効果(模式図)

緩衝型船首構造の性能要件(構造模型による破壊実験¹⁰⁾)

緩衝型船首構造の試設計案を参考にして、実船の1/2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。特に、平成14年度は、実船での斜め衝突に対応させた横曲げ圧潰実験を実施した。これらにより、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。



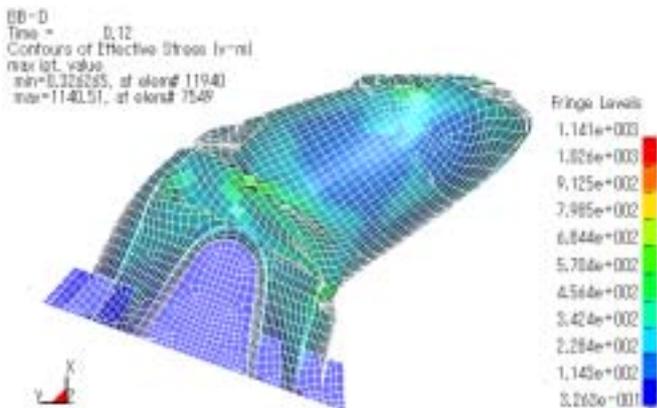
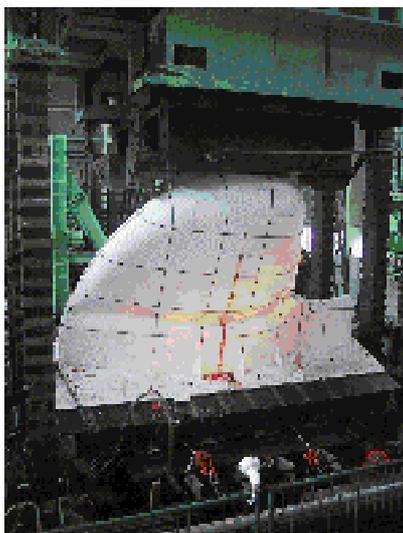
(a). 実験状況 (b). 圧潰後の模型の外観状況

図-12. 船首模型の軸圧潰実験

緩衝型船首構造の性能要件(模型の破壊シミュレーション解析¹¹⁾)

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、外板が補強横骨間で

順次折り畳まれてゆくfolding現象など実験結果と計算結果を比較検証した。その結果、破壊進展や反力履歴特性について、実験と解析は良い対応を示すことが確認できた。

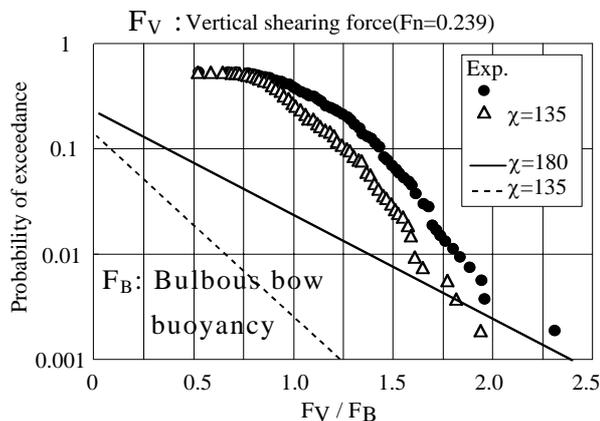


(a). 横曲げ負荷実験の状況 (b). 模型のFEMシミュレーション解析例

図-13. 船首模型のFEMシミュレーション解析

船首構造にかかる環境荷重の解明¹²⁾

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、代表船種としてコンテナ船の自航式模型船による波浪中水槽試験を実施し、船首バルブ部全体に作用する垂直及び水平方向の剪断力と曲げモーメント、及びバルブ部に作用する波浪衝撃水圧を計測した。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(図-14参照)。



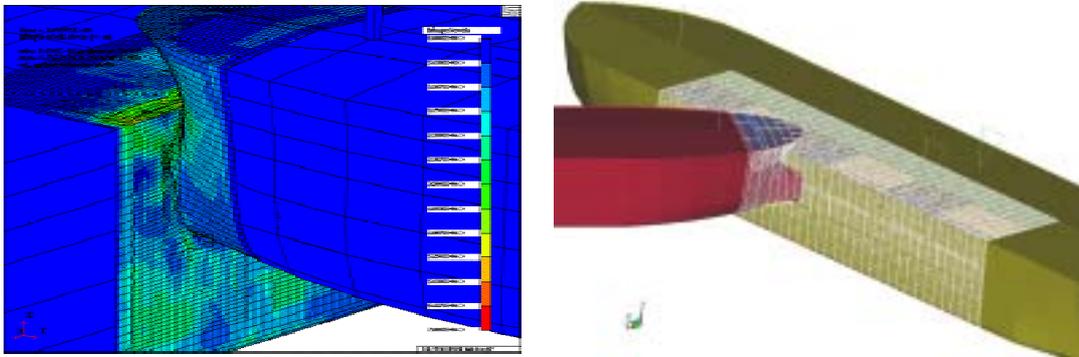
(a). 水槽試験の状況 (b). 環境荷重の推定結果

図-14. 船首構造に作用する環境荷重評価

緩衝型船首の効果評価(衝突シナリオのシリーズ解析)

衝突船の船種と載荷状態の組合せ(被衝突船はDHタンカー)及び衝突時の2船の相対位置と船速をシリーズ変化させた衝突シナリオを想定し、各々の衝突ケースにおける限界速度を順次シリーズ解析により求める(図-15参照)。限界速度とは、縦通隔壁(内殻)が破れるかどうかの限界の衝突船速度である。緩衝型船首の場合には、図-11に模

式的に示すように、従来船首構造に比べて限界速度が大きくなることが期待され(衝突条件によりその程度は異なる)、従って万一DHタンカーが衝突されても衝突船の速度がこの限界値に達していなければ油流出が発生しない結果となり、例えば年間油流出量の低減という形で緩衝型船首構造の施策として効果が評価し得る。



(a) . 衝突による破損進行部の表示例 (b) . 斜め衝突時の表示例
 図-15 . 緩衝型船首の効果評価のための衝突シナリオ・シリーズ解析

4 . 今後の研究展開について

タンカー構造の経年劣化に関する研究では、プレステージ号事故を受けたCAS見直しの検査要件提示およびDHタンカーゆえの特徴的な経年劣化に伴う検査強化プログラム(ESP)の見直し改定提案を目指して研究展開を推進する(表-6参照)。特に、CAS見直し対応の検査要件としては、3.2節で触れた上甲板とデッキロンジ間の剥離の有無を調べる検査要領がポイントであり、DHタンカーに特徴的なESP見直し要素としては、魔法瓶効果に起因する腐食加速影響が大きな検査部位が可能性として候補に上げられる¹³⁾。但し、検査範囲の拡大や検査密度を上げる規定だけでは、検査員の構造に関する知識や経験が不十分な場合、重大な欠陥を見落とす可能性が依然として残る。重要箇所については、如何にして検査すべきかの指針と勘所を提示して、確実に検査を実践できる環境を整えることが効果的と考えられる。

また、緩衝型船首構造の性能評価と国際基準化に関しては、設計基準案の策定に今少し時間を要するが、既に基本コンセプト¹⁴⁾は内外に提示されている。従って、図

表-6 . 検査基準の見直しポイント

検査規則の主な見直しポイント
 ・ダブルバルタンカー特有の検査箇所の追加
 ・大規模折損事故を防止するための重点検査箇所の見直し(効果的な検査要件の作成)

| | 現行規則 | 見直しポイント |
|---------------|------------|-------------------------|
| 貨物タンク甲板部 | 目視検査と板厚計測 | デッキロンジの健全性検査要件及び判定基準 |
| 貨物タンク船底部(内底板) | 内底板なし | 内底板ピットの検査要件及び判定基準 |
| バラスタング | 船齢に応じた目視検査 | 船齢に応じた効率的な検査要件の策定 |
| 船側部 | 目視検査と板厚計測 | 船側上方のロンジ材の健全性検査要件及び判定基準 |
| 許容基準 | 縦強度のみ | 縦強度他 |
| 修繕 | 縦強度に関する規定 | 重点検査箇所について、修繕の可否判断、修繕方法 |

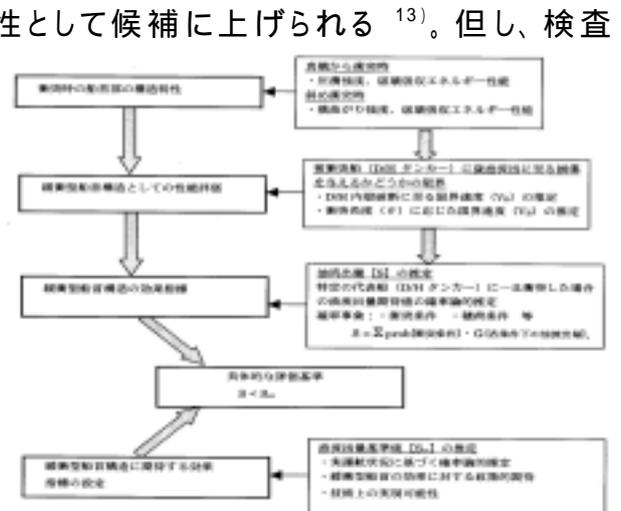


図-16 . 緩衝型船首構造の基準化フロー

-16に掲げる基準化フローに従って、具体的な基準の形やそれに必要となる技術データや統計資料を package proposal として一体化したものに仕上げてゆく必要がある。

参考文献

- (1) MARPOL 73/78条約議定書, International Convention for the Prevention of Pollution from Ships 1973 as modified by the Protocol of 1983: MARPOL73/78
- (2) ナホトカ号事故原因調査報告書、平成9年7月、運輸省
- (3) Report of the Investigation into the loss of the motor tanker ERIKA on Sunday 12 December 1999, MALTA Maritime Authority, Sept. 2000
- (4) 宮本武ほか、タンカーによる大規模油汚染の防止対策、海上技術安全研究所研究発表会講演集(2001年6月)、および 川野始ほか、油流出防止構造プロジェクトの目的と初年度成果、海上技術安全研究所研究発表会講演集(2002年6月)
- (5) 日本造船研究協会、原油タンカーの新型コロージョン挙動の研究、SR242研究部会成果報告書、平成14年3月
- (6) 小林佑規ほか、原油タンク環境の腐食試験、海上技術安全研究所研究発表会講演集 (2002年6月)、および 田中義久ほか、模擬原油タンクにおける孔食再現試験、海上技術安全研究所研究発表会講演集(2003年6月)
- (7) 岡正義ほか、腐食データベースによるDHタンカーの全体強度の経年劣化予測、海上技術安全研究所研究発表会講演集(2003年6月)
- (8) 山本規雄、確率モデルに基づく腐食の発生及び進行の評価、日本海事協会誌、No.245、pp.24-29。および Yamamoto, N. and Ikegami, K., "A Study on the Degradation of Coating and Corrosion of Ship's Hull based on the Probabilistic Approach", Trans.ASME, JOMA E, Vol.120, No.3, pp.121-128, 1998
- (9) 成瀬健ほか、超音波厚さ測定の省力化と信頼性向上に関する検討、海上技術安全研究所研究発表会講演集(2002年6月)、および T. Naruse, M. Shimada and T. Yoshii; Numerical investigation of an error correction method for ultrasonic thickness measurement at rough corroded test, The 6th Far-East Conference on Non-Destructive Testing.
- (10) 山田安平、バルバスパウ部の圧潰特性、海上技術安全研究所研究発表会講演集(2002年6月)、および 山田安平ほか、斜め衝突を想定した船首構造圧潰実験、海上技術安全研究所研究発表会講演集(2003年6月)
- (11) Y. Yamada, H. Endo, H. Kawano and M. Hirakata; Collapse mechanism of the buffer bow structure on axial crushing, ISOPE-2003 at Hawaii (2003)
- (12) 谷沢克治ほか、船首バルブに作用する環境荷重、海上技術安全研究所研究発表会講演(2002年6月)
- (13) IMO DE46/INF.6; Amendments to resolution A.744(18) A Study on hull condition assessment for aged double hull tanker, 2 January 2003
- (14) IMO MEPC45/INF.5; The result of the research project regarding the adoption of buffer bow design to colliding ship for the prevention of oil outflow from collided oil tanker in case of collision, 30 June 2000、および H. Endo, Y. Yamada, O. Kitamura and K. Suzuki; Model test on the collapse strength of the buffer bow structures, Marine Structures 15 (2002) 361-381