

斜め衝突を想定した船首構造圧潰実験

輸送高度化研究領域 構造解析研究グループ * 山田 安平、遠藤 久芳、
橋爪 豊、原野 勝博
客員研究員 竹本 博安
油流出防止構造プロジェクト 川野 始、平方 勝

1. はじめに

ダブル・ハル構造のタンカーにおいても、大型かつ高速の船舶が衝突した場合には、船側に大きな損傷を受け、荷油の漏洩により甚大な海洋環境汚染を引き起こす恐れがあり、その防止対策が必要である。衝突によるタンカーからの油流出防止策として、被衝突船の船側構造の工夫（構造様式及び構造材質）のみで図るアプローチは、効率上一定の限界がある事が分かってきた。そこで、被衝突船のみでなく衝突船においても変形による衝突エネルギーを吸収する「緩衝型船首構造」というアイデアが提起された¹⁾。国土交通省は、ダブルハルの次のステップとして、緩衝型船首構造に関する国際基準策定のための検討を行うこととした。当研究所では、「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」を行っている。本研究では、被衝突船にとって最も脅威となる、船首バルブ（バルバス・パウ）を対象として、緩衝型船首構造の具体的な構造要件を明らかにし、国際基準を策定することを目的としている。今年度は、初年度に行った船首バルブ模型の準静的軸圧潰実験²⁾に引き続き、実船構造の船首バルブ模型を用いて、斜め衝突を考慮した曲げ崩壊実験を実施した。さらに、実験の解析検証として汎用非線形衝突解析ソフト「LS-DYNA」を用いてFEM シミュレーション解析を実施したのでこれまでの研究成果を報告する。

2. 船首バルブ模型の曲げ崩壊実験

船首バルブの斜め衝突時の基本的圧潰メカニズムを把握するために、防撓方式の異なる2種類の大型船首バルブ模型を用いて、準静的曲げ崩壊実験を

実施した。2種類の模型は、図1のような同一の船首バルブ形状を有するが、1つは緩衝型船首構造のプロトタイプである横肋骨方式模型（BB-D）であり、もう一方は従来型の縦肋骨方式模型（BB-E）とした。それぞれの模型はできる限り実船舶の建造仕様に従って作製されており、緩衝型船首構造のプロトタイプであるBB-D模型については、バルブ根本での曲げ変形を促進する目的で、左右舷外板のFr.93-1/2付近に極軟鋼を採用した。船首バルブの例として横肋骨方式の内部構造を図2に示す。

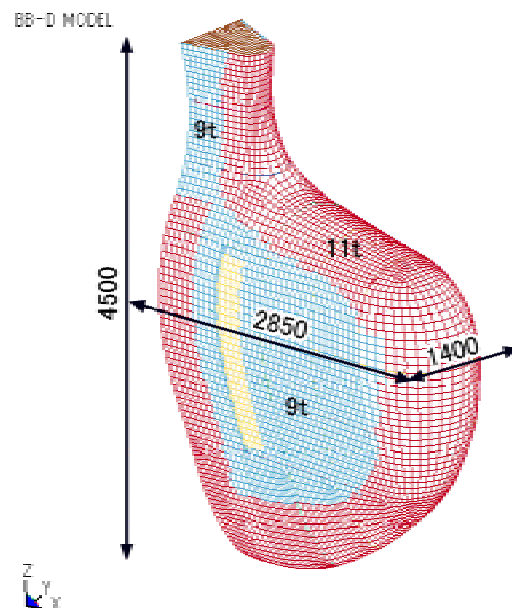


図1 船首バルブ外観

実験は、図3のように、船首バルブ根本を角度72度傾けて固定し、剛体板を船首上方よりゆっくりと降下させ、準静的に圧潰した。試験機の圧潰ストローク制限から、それぞれの実験途中に各1回盛り換えを行った。模型の変形に伴い試験機に過大な横方

向荷重が発生するのを防止するために、模型底部と試験機下部圧盤との接触に図 4 のようなリニア・ローラー・ベアリングを用いた。実験データとして、荷重・変位・板の曲げ歪みを計測すると共に、模型外部及び内部の崩壊状況をビデオカメラにて撮影した。なお、本実験では、船首バルブの圧潰メカニズム解明に焦点を絞るため、被衝突船は剛体と仮定すると共に、船体運動の影響は考慮していない。

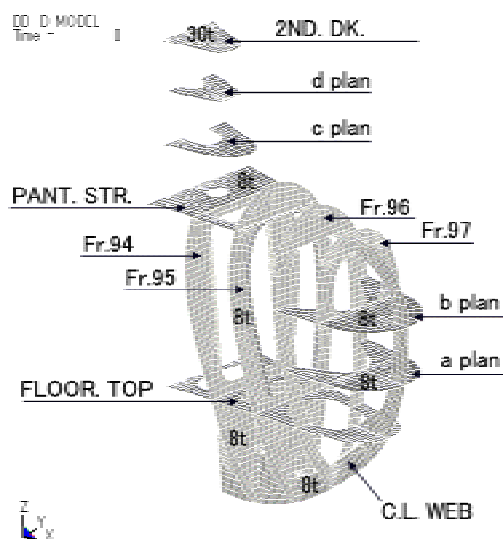


図 2 横肋骨方式船首バルブ (BB-D) の内部構造 (外板非表示)

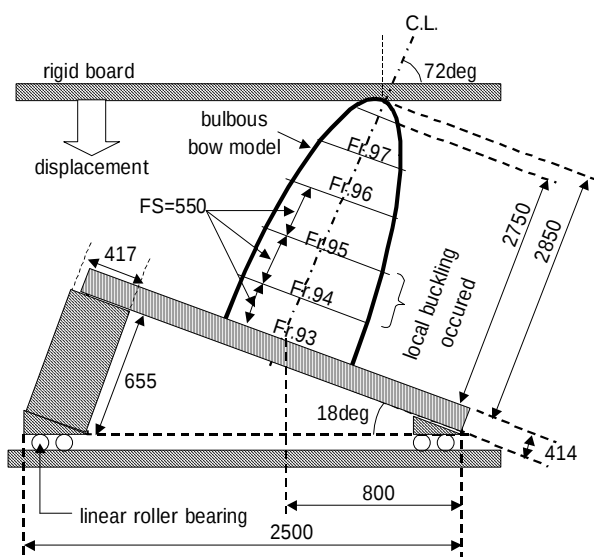


図 3 実験条件



図 4 リニア・ローラー・ベアリング

3. 実験結果

圧潰状況の例として、BB-D 模型について、実験途中の圧潰状況及び実験後の内部変形状況を図 5 及び図 6 に示す。また、反力履歴及び総エネルギー吸収量をそれぞれ図 7 及び図 8 に示す。

まず、圧潰モードについて、2 種類の模型は、肋骨防撓方式に関わらず船首バルブ先端部の局部圧潰が先行した後、バルブ根本 (Fr.94-1/2 付近) で大きく横曲がり変形する曲げ崩壊モードで圧潰した。

詳細には、BB-D 模型は、加圧盤と平行な平面状に船首先端から逐次潰れていき、この潰れ変形が 130mm 程度に達した時点で最大反力に達し、バルブ根本で折れ曲がる曲げ崩壊モード (図 5 参照) に移行していった。バルブ先端の圧潰範囲は先端付近に限られており、この圧潰に伴いバルブ外板が同心円状に Folding するモードは見られなかった。この後は、バルブ根本の極軟鋼材の部分の座屈が進行することにより、バルブ全体の横曲がり変形が進展していった。最大反力は、約 4.5MN であり、横曲がり後にこの反力は、約 2.0MN に急激に低下した。その後、横曲がり変形は増大していくものの、この反力はほぼ 2.0MN を維持した。極軟鋼部は大きく座屈した後も破断せず、最終的には極軟鋼の隣接部の通常軟鋼部が破断していた。

一方、BB-E 模型は、Model BB-D の場合と同様に、先ず船首バルブ先端の潰れ破壊が先行し、この潰れ変形が 250mm 程度に達したところで、最大反力に達して次の崩壊モードに移行していった。BB-E の場合に

も同心円状の外板Foldingモードは現れなかった。この後は、バルブ根本の座屈が進行することによりバルブ全体の横曲がりが進んでいった。座屈したバルブ断面位置はBB-Dの場合よりもやや根本寄りであった。最大反力は、約7.1MNであったが、横曲がり後はこの反力が徐々に低下していった（図 7 参照）。座屈変形の最も大きな外板部に破断が生じた。図 7 より、2 種類の模型の反力ピークを比較すると、横肋骨方式は、縦肋骨方式に比べ、約35%程度反力が低くなっていることが分かる。



図 5 模型圧潰状況（BB-D 模型）

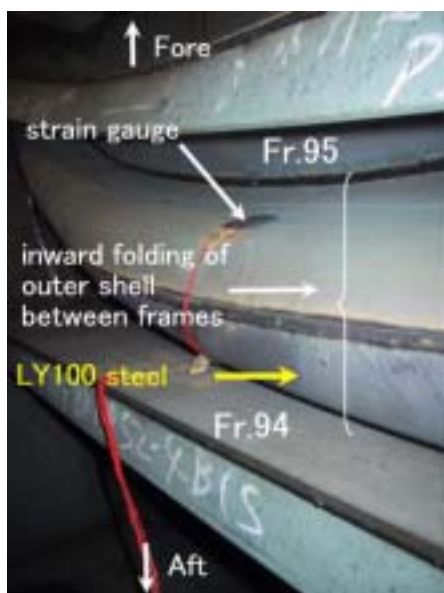


図 6 模型内側から見た外板 Folding（BB-D 模型の場合）

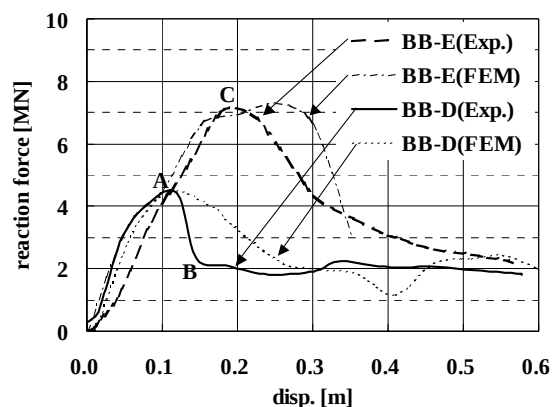


図 7 反力履歴

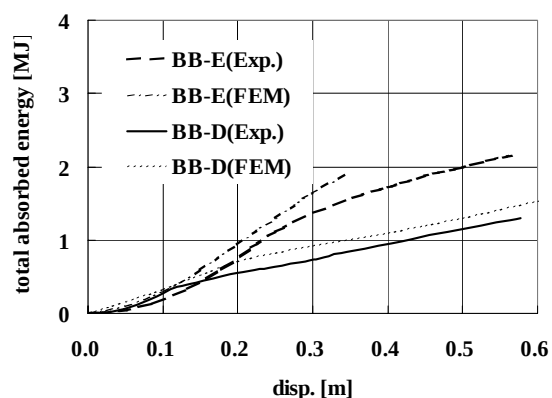


図 8 エネルギー吸収量

4. FEM シミュレーション解析

曲げ崩壊モードに対する解析の適用性を検証するとともに、斜め衝突時の船首バルブの崩壊メカニズムを明らかにするために、汎用非線形衝突解析ソフト「LS-DYNA」を用いて、FEM シミュレーションを行った。FEM モデルは、全てシェル要素で作成し、要素の破断を考慮できる弾塑性材料モデルを用いた。溶接部の破断は、影響が小さいものとして考慮していない。FEM モデル例として BB-D 模型のものを、図 1 及び図 2 に示す。

5. 解析結果

BB-D 及び BB-E の反力履歴及びエネルギー吸収線量を、実験結果とともに、それぞれ図 7 及び図 8 に示す。まず、BB-D モデルについて、崩壊モードは、曲げ崩壊モードであり全体的に実験と良く一致する結果となった。曲げ圧縮側の外板座屈形状の詳細

細については、実験と同様な結果を得られることが確認できた。横曲がり後の変形図を図 9 に示す。一方、外板破断の再現ができていない点や、溶接部の変形をやや過大に評価してしまっている点など若干の相違が見られた。後者については、実際には、溶接ビードにより溶接線の板厚が微増しているため強度が増していることが原因と考えられ、残留応力を含め今後の課題となる。しかし、本研究の目的となる反力履歴推定の観点からは、図 7 より、解析結果が実験結果を比較的良好に推定できていると言える。被衝突船の破壊にとって重要となる反力のピーク値については、定量的にも良好に推定できており、誤差は 2 % 程度であった。また、図 8 より、エネルギー吸収量(変位 0.577m までの総量)を比較すると、解析結果は実験結果に比べ若干高めに推定しているものの、直線の推移傾向はほぼ実験と同様であり良好に推定できていると言える。定量的には、誤差蓄積影響が出たため、誤差は+13%であった。衝突において重要なエネルギー吸収量の観点からも精度良く推定できていると言える。

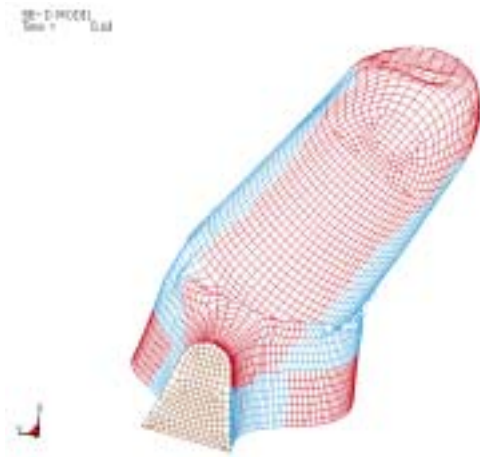


図 9 横曲げ変形図の例
(BB-D 模型 ; disp.=0.64m)

一方、BB-E モデルの変形モードは、実験と異なり、船首先端より逐次圧潰するモードが進行していった。この原因の 1 つとして、実際の模型では、板継ぎのために、Fr.93-1/2 付近でバルブを一周するように突き合わせ溶接をしており、周方向の入熱影響により、周方向の初期収縮力が存在して、Fr.94 付近断面の強度を低下させたと推定される。しかし、図 8 より、エネルギー吸収量で比較すると、解析結

果は、実験結果より若干低い値であるが、ほぼ実験結果と同様に推移しており、変形モードが異なっても、エネルギー吸収量にはそれ程の誤差は生じなかった。

6. 結 言

防撓方式の異なる 2 種類の大型船首バルブ模型に対して、斜め衝突を想定した準静的曲げ崩壊実験及び FEM シミュレーション解析を行い次のような結論を得た。

- (1) 船首バルブは、角度 72 度の斜め圧潰において、肋骨方式に関わらずバルブ根本で大きく折れ曲がる曲げ崩壊モードで圧潰した。
- (2) BB-D 模型の圧潰反力は、横曲がりと共に急激に低下するが、その後はほぼ一定値(約 2.0MN)で推移していった。
- (3) 極軟鋼を採用した横肋骨方式船首バルブは、被衝突船にとって脅威となる反力ピークを縦肋骨方式に比べて約 35%程度軽減させ、斜め衝突時の反力ピークを低下させるのに一定の効果をも有する。
- (4) FEM シミュレーションは、横肋骨方式船首バルブの曲げ崩壊を比較的良好に推定することができる。今時解析における誤差は、荷重ピーク値で約 2 %、エネルギー吸収量で約 13%であった。

7. おわりに

本研究は、平成 13 年度から 4 年計画で、国土交通省からの受託研究プロジェクト「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」の一環として行われたものである。模型実験実施に際して、多大なご協力を頂きました愛知工業大学青木教授の他関係各位に深謝致します。

参考文献

- 1) 新形式タンカー構造の研究開発報告書、造船業基盤整備事業協会(1996)
- 2) バルバス・パウの圧潰特性、第 2 回海上技術安全研究所講演会講演集、pp.157-162