

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 24 日現在

機関番号：82627

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560997

研究課題名(和文) 船体桁の最終強度簡易推定手法の開発とリスクベースデザイン手法への適用

研究課題名(英文) On the development of simplified method of ultimate strength and application of the method to risk-based design

研究代表者

山田 安平 (Yasuhiro, Yamada)

独立行政法人海上技術安全研究所・その他部局等・研究員

研究者番号：90443241

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：船舶が他船に衝突される等損傷を生じ、当該損傷の程度が大きい場合には、船体強度が著しく低下し、船体折損に至り、人命損失や積荷の漏洩により甚大な海洋環境汚染となる恐れがある。このように、船体が損傷した場合にも、船体が一定以上の強度を保つための強度を「残余強度」という。人命の安全及び海洋環境保護のためには、残余強度を一定以上の基準となるように設計することが重要である。そこで、本研究では、船舶が衝突された場合の船体の破壊のメカニズムを解明するために、模型実験及び一連の数値シミュレーションを行うと共に、船体残余強度の推定手法の高度化に関する研究を行った。

研究成果の概要(英文)：Loss of life as well as disastrous environmental pollution may happen if ships is subjected to significant damage including ship collisions. Residual strength is defined as a strength that ships have sufficient strength even in damaged condition. It is important to have sufficient residual strength in order to preserve safety of life at sea as well as protection of environment. In the present study, in order to find out a mechanism of ship breaking in damaged condition a scale-model test as well as a series of state-of-the art numerical simulations were carried out and a research to develop advanced methods to estimate residual strength is carried out.

研究分野：船体構造安全性評価、リスク・信頼性評価、流体と構造の連成

キーワード：船体最終強度 残余強度 船舶の衝突 リスク リスクベースデザイン 非線形有限要素法 Smith法
模型実験

1. 研究開始当初の背景

(1) 損傷後の船体梁の余剰耐力としての最終強度確保は事故後の人命保全の観点から重要である。これまで、船体桁の最終強度については、様々な研究が行われており、Smith法に基づく逐次崩壊解析手法及び詳細な弾塑性有限要素解析等が提案・適用されてきたが、モデル作成に多くの時間を要する等、設計の初期段階、ルール策定並びに確率論に基づくリスク・ベース・デザインにおいては、適用が必ずしも容易でない場合があった。防撓パネルの座屈強度算式を準用して、逐次崩壊解析よりも簡便な Caldwell 法も提案されているが、防撓パネルの最終強度到達後の強度減少が考慮されておらず、断面全体の最終強度推定精度が確保されないという問題がある。近年は、Smith法を用いた逐次崩壊解析手法を中心とした研究が活発に行われ、とりわけ、Smith法の推定精度に大きな影響を及ぼす平均応力 - 平均ひずみ関係の精度向上に関する研究が活発に行われてきた。一方、損傷により非対称断面を有する船体桁の場合や、縦曲げモーメントと水平曲げモーメントが重畳する場合には、中立軸が回転し、複雑な崩壊メカニズムとなることが推定される(図1)。

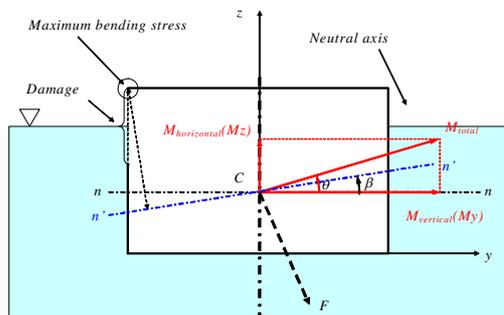


図1 非対称断面を有する箱型船舶が曲げを受ける場合の中立軸の回転

しかし、非対称断面の曲げ崩壊メカニズムについては、実験等により十分に解明されているとはいえない。また、Smith法の非対称断面への適用について、損傷部の要素を削除しただけの解析例があるが、その合理性や精度は必ずしも十分に検証されていない。さらに、損傷が船体長手方向に広がっている場合には、3次元影響が生じるので、2次元断面の解析手法である Smith 法ではこれらの影響を考慮することは難しいと考えられる。

(2) IMO において、目標指向型構造基準 (GBS: Goal Based ship construction Standards) が採択され、2016年7月1日以降建造のタンカー及びバルクキャリアに、事故後の残余強度要件 (Residual Strength) が新規に課されることとなり、設計初期段階で適用可能な、簡便な残余強度評価手法の構築が重要となっている。

(3) 近年、欧州を中心に、確率論に基づく、リスク・ベース・デザイン²⁾が活発に研究され

ており、決定論ではなく、確率論に基づくリスク・ベース・デザインにより簡便に適用可能であり、かつ、非対称断面にも適用可能な、簡易最終強度計算手法の構築が有用であると考えられる。

2. 研究の目的

(a) 損傷を模擬した船体桁模型の曲げ崩壊実験により、非対称断面を有する船体桁の縦曲げ崩壊メカニズムを明らかにする。

(b) 船体桁の縦曲げ最終強度計算手法として、非対称断面にも適用可能な最終強度簡易推定手法を構築する。

(c) 模型実験及び弾塑性有限要素解析を用いて、開発した簡易推定手法の妥当性・実船構造への適用性を検証する。

(d) 模型実験との比較検証により、非線形動的構造解析手法の解析精度検証並びに、初期不整及び残留応力が縦曲げ最終強度推定精度に与える影響について明らかにする。

(e) 当該簡易推定手法を用いて、事故シナリオの類型化に基づくリスク解析を実施し、リスク・ベース・デザインへの適用性を検証する。

3. 研究の方法

非対称断面を有する損傷船舶の基本的な縦曲げ崩壊メカニズムを明らかにするために、船側に開口部を有する箱型鋼製船舶を用いて、準静的な4点曲げ崩壊実験を行った。非線形有限要素法及び簡易解析手法 (Smith法) を用いて崩壊実験に対応する解析検証を行った。

船舶の事故状況について、海難審判庁裁決録を元に衝突事故データの類型化を行い、ベイジアンネットワークを用いたリスク・モデルを構築した。

及び を組み合わせて、船体桁の損傷時及び非損傷時を考慮したリスク・ベース・デザイン手法のベースを構築する。

4. 研究成果

(1) 模型実験による崩壊メカニズム等の解明

非対称断面を有する箱型船舶の基本的な縦曲げ崩壊メカニズムを明らかにすると共に、簡易解析手法及び非線形有限要素解析の妥当性検証のために、大型ダブル・ハル・タンカーを簡易化した鋼製縮尺模型を用いて、船側開口部を有するハルガーダーのサギングモーメントに対する4点曲げ崩壊実験を行った。得られた結論は次のとおり。

船側損傷を有する船舶模型のサギングモーメントに対する崩壊メカニズムが明らかになった。即ち、発生順に、上甲板の座屈、上甲板縦桁の Stiffener tripping、上甲板の曲げ崩壊 (ハルガーダーの崩壊) である。損傷舷では、船側がまず座屈・面外変形を生じ、それに伴って、損傷側の上甲板が、非損傷舷側の上甲板より早期に座屈することが実験的に確認できた。

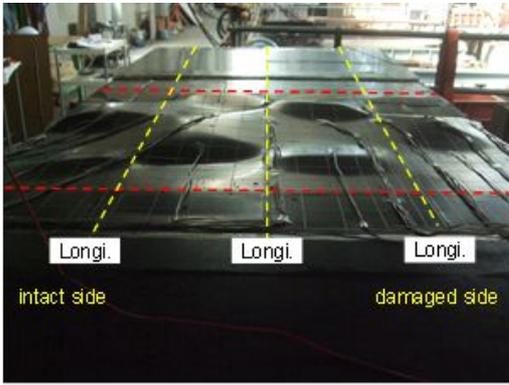


図 2 上甲板の3半波座屈変形状況



図 3 4点曲げによる箱型鋼製模型の最終強度後の座屈・崩壊状況

開口部損傷により、中立軸の回転が生ずることが実験的に確認できた。

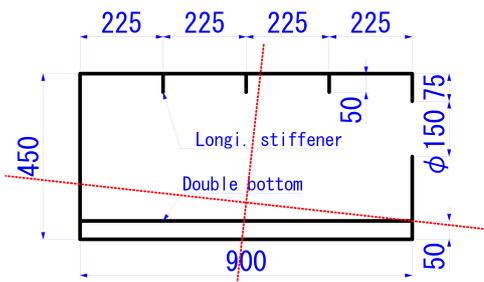


図 4 模型実験結果より得られた船体横断面における中立軸の回転状況

損傷舷では、中立軸から最も遠い上甲板ではなく、開口部上側エッジに最も高い応力が生ずることが分かった。これは、開口部の存在による応力集中が原因であると考えられる。Smith法で非対称断面の最終強度を推定

する際には、中立軸の回転だけでなく、損傷舷の応力分布を考慮することが合理的である。

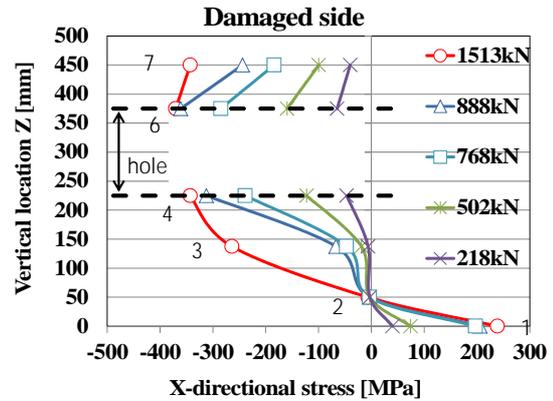


図 5 荷重負荷状況毎の損傷舷の応力分布の比較 (模型実験値)

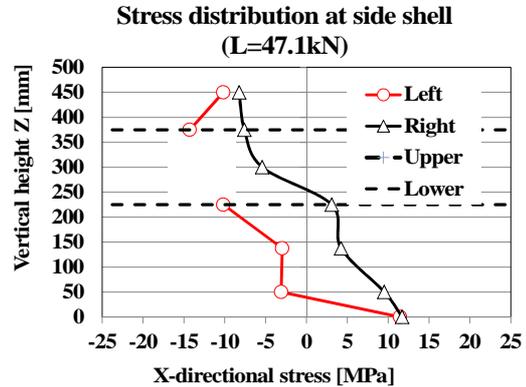


図 6 損傷舷と被損傷舷での船体長手方向応力分布の比較 (模型実験値)

簡易推定手法及び非線形有限要素法は、模型実験に比べて、7~10%高めの推定値を与えることが分かった。これは、設計上は危険側の推定値であるが、概して、良好な精度で実験時の反力・崩壊メカニズムを推定できることが分かった。更なる高精度化のためには、非線形有限要素法においては、溶接による初期たわみ、簡易解析手法については、中立軸の回転や、損傷による応力集中を考慮した船側応力分布の考慮が重要である。

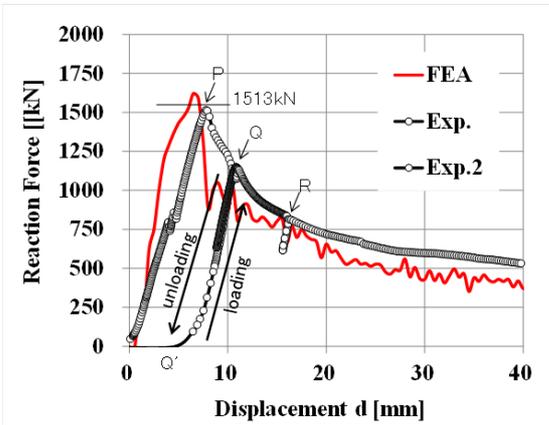


図 7 反力履歴の比較 (黒：模型実験値、赤：非線形有限要素法推定値)

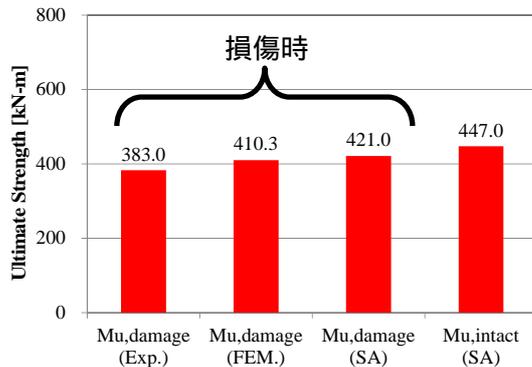


図 8 最終強度値の比較 (Exp：実験値、FEM：非線形有限要素法、SA：簡易解析手法)

(2)非線形有限要素法による実船衝突シミュレーション及び縦曲げ崩壊解析

最先端の非線形有限要素法シミュレーション技術を用いて、2段階解析手法を開発し、2船全船の衝突シミュレーション及び被衝突船の縦曲げ崩壊解析を行った。衝突シナリオとして、大型タンカーが大型バラ積み船に衝突すると仮定した。

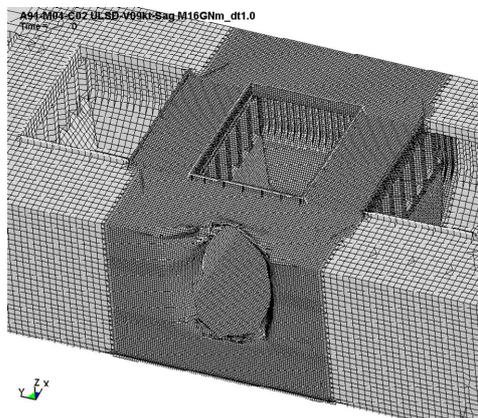


図 9 衝突シミュレーションによる被衝突船の開口状況推定 (9kt 衝突)

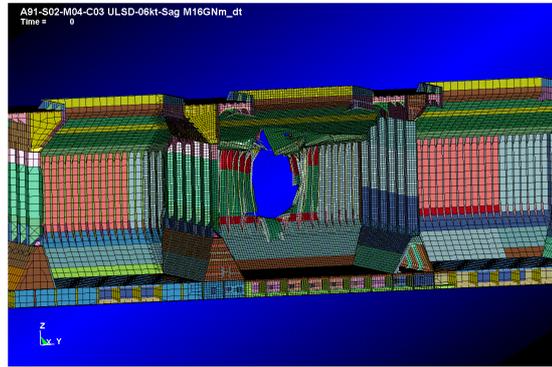


図 10 衝突による生じた船側開口部 (衝突船及び被衝突船を一部非表示として、貨物艙側からの視野)

解析の結果、衝突船の速度が 12kt 衝突の場合には、最終強度が約 40% 程度も低下する可能性があることが分かった (図 11)。

衝突速度が 3kt の場合は、船側に破口を生じないが、面外変形のみであっても、最終強度が約 15% 程度低下することが分かった (図 11)。

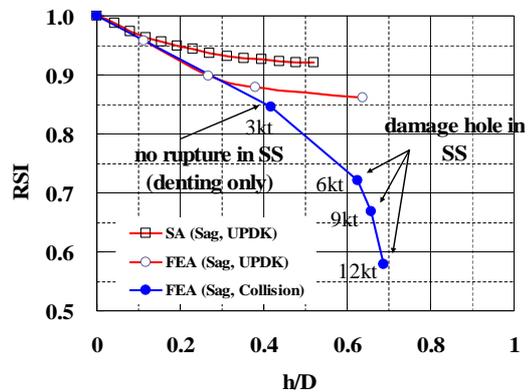


図 11 衝突速度が最終強度低下率に与える影響 (非線形有限要素法)

(3)リスクベースデザインに資する海難審判庁判決録事故データの類型化

海難審判庁の判決録を用いて、特に、衝突事故データの類型化を行った。本研究では、大型船から徐々にデータ数を拡大し、4000GT 以上の船舶を対象として、約 650 件の事故を対象とし、次のような知見を得た。

衝突船は速力 10-11kt で衝突する頻度が最も高く、10kt をピークとする正規分布に近い頻度分布が得られることが分かった。(図 12)

被衝突船については、被衝突時に停泊しているか 10-15kt 前後で航行している際に

他船に衝突される確率が高いことが分かった(図13)。

衝突角度については、角度90~100度の確率が最も高く、次いで60-70度、20-30度の確率が高く、上位3区間はいずれも90度以下であり、比較的同方向に進行中に衝突する確率が高いという結果が得られた(図14)。

衝突位置について、衝突船は、被衝突船の船首、船体中央、船尾部にほぼ同程度の確率(一様分布)で衝突することが分かった。

これまで、上記のようなデータは詳細が公開されておらず、我が国では貴重なデータと考えられる。今後、リスクベース・デザインや、確率論的な評価衝突リスク及び衝突による環境被害リスクを評価する際には、本解析で得られたデータが非常に有用となると考えられる。

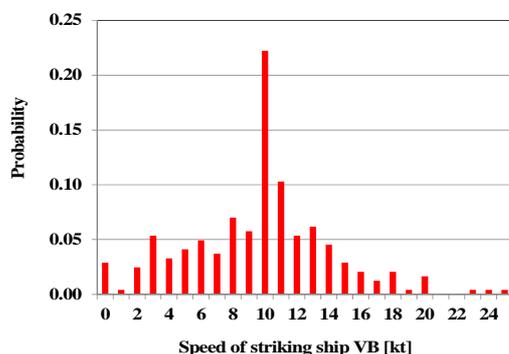


図12 衝突船の衝突速度の確率密度分布(海難審判庁判決録データ分析より)

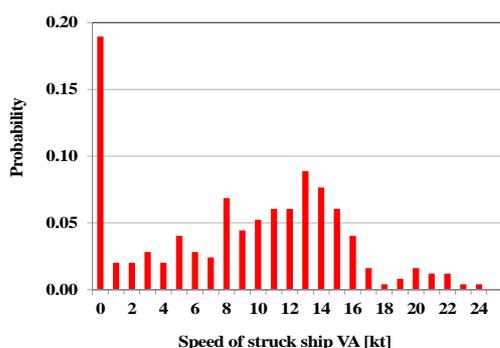


図13 被衝突船の衝突速度の確率密度分布(海難審判庁判決録データ分析より)

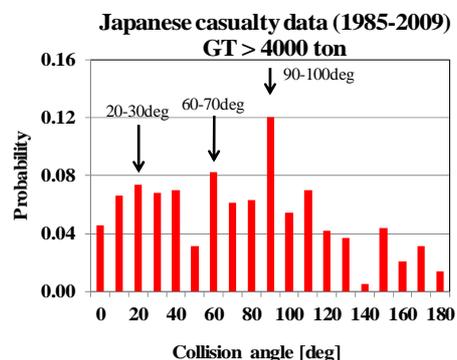


図14 衝突角度の確率密度分布(海難審判庁判決録データ分析より)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計3件)

Yamada, Y., "Ultimate Hull Girder Strength of a Bulk Carrier in Intact and Damaged Condition subjected to Sagging Moment", "Ships and Offshore Structures", **査読有**(査読中), (2015)

Yamada, Y. & Takami, T., "Model test on the ultimate longitudinal strength of a damaged box girder", Proceedings of the 5th International Conference on Marine Structures, **査読有**, pp.435-441, (2015)

Yamada, Y., "Numerical Study on the Residual Ultimate Strength of Hull Girder of a Bulk Carrier after Ship-Ship Collision", Proceedings of the 33rd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (OMAE2014), **査読有**, p1-11, (2014)

[学会発表](計8件)

山田安平, "衝突による損傷を想定した船舶の縦曲げ崩壊模型実験について(第2報)", 日本船舶海洋工学会春季講演会, 2015年5月25日、神戸国際会議場(兵庫県神戸市)

Yamada, Y., "Model test on the ultimate longitudinal strength of a damaged box girder, Analysis and Design of Marine Structures", "5th International Conference on Marine Structures", 2015年3月27日、ザ・グランド(英国)

高見朋希, 山田安平, "衝突による損傷を想定した船舶の縦曲げ崩壊模型実験について", 日本船舶海洋工学会講演会秋季講演会, 2014年11月20日、長崎ブリックホール(長崎県・長崎市)

山田安平, 金湖富士夫, "海難審判庁判決

録に基づく我が国沿岸の船舶の衝突事故データベース構築とその類型化について(第2報)”,日本船舶海洋工学会講演会,2014年11月20日、長崎ブリックホール(長崎県・長崎市)

山田安平、”衝突後のバルクキャリアの残余船体縦曲げ最終強度について”、日本船舶海洋工学会材料・溶接研究会第26回研究会(招待講演)、東京大学(東京都・文京区)

Yamada, Y., “Numerical Study on the Residual Ultimate Strength of Hull Girder of a Bulk Carrier after Ship-Ship Collision”, the 33rd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (OMAE2014), 2014年6月10日、San Francisco (米国)

山田安平、”サギング・モーメントを受けるバルクキャリアの衝突後の残余船体縦曲げ最終強度について”、日本船舶海洋工学会秋季講演会、2014年5月26日、仙台国際センター(宮城県・仙台市)

山田安平、**金湖富士夫**、”海難審判庁裁決録に基づく我が国沿岸の船舶の衝突事故データベース構築とその類型化について”、日本船舶海洋工学会秋季講演会、2013年11月21日、大阪府立大学(大阪府・大阪市)

〔図書〕(計 1件)

Yamada.Y., Takami T. “Model test on the ultimate longitudinal strength of a damaged box girder”, Analysis and Design of Marine Structures - Guedes Soares & Shenoi (Eds), pp.435-441, (2015)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)
取得状況(計 0件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山田 安平 (YAMADA, Yasuhira)
海上技術安全研究所構造安全評価系上席
研究員
研究者番号: 90443241

(2) 研究分担者

田中 義照 (TANAKA, Yoshiteru)
海上技術安全研究所研究統括主幹
研究者番号: 40373419

研究分担者

高見 朋希 (TAKAMI, Tomoki)
海上技術安全研究所、研究員
研究者番号: 50586683

(3) 連携研究者

金湖 富士夫 (KANEKO, Fujio)
海上技術安全研究所上席研究員
研究者番号: 70358406