

平成22年5月10日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2007～2009

課題番号：19760578

研究課題名（和文） 船体構造の流力弾塑性問題に関する研究

研究課題名（英文） Hydroelasticity and Hydroplasticity of Ship Structures

研究代表者

飯島 一博（IIJIMA KAZUHIRO）

大阪大学・工学研究科・講師

研究者番号：50302758

研究成果の概要（和文）：極限海象中の船体構造の崩壊現象を追跡するための、流力弾性・流力弾塑性解析法の開発を目指して、(1) 衝撃荷重を含む流力弾性応答解析プログラムの作成、(2) 弾塑性解析理論構築とプログラム作成、(3) 極限海象の絞込み、(4) 船体弾塑性解析法の検証方法の検討、を行った。(4)では波浪中崩壊現象再現のための縮尺模型設計法の検討を行った。さらに、波浪中崩壊特性を支配する荷重・強度モデルのパラメータを抽出した。

研究成果の概要（英文）：In order to develop hydroelasticity and hydroplasticity analysis methods that can follow the collapse behavior of a ship's hull girder in the extreme waves, (1) hydroelasticity analysis code including evaluation of impact loads, (2) hydroplasticity analysis code based on hydroplasticity theory, (3) a method to select extreme sea conditions, (4) a validation procedure for the hydroplasticity theory, are developed. In the item (4), a design methodology for a scaled model is developed. Further, influential parameters in strength and load models which govern the extent of the collapse, or consequence of the ship's hull girder collapse are specified.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,600,000	0	1,600,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	480,000	3,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：流力弾性，流力弾塑性，衝撃荷重，極限荷重，リスク工学，海象の絞込み，船体構造

1. 研究開始当初の背景

船体構造の設計基準は限界状態設計法や

信頼性設計法あるいはリスク設計法ベースに移行しつつある。今後も引き続き限界状態

設計法やリスク設計法ベースに向けた動きが続く、より合理的な設計基準体系が確立されていくものと考えられる。

これらの合理的な設計法においては、構造が破損するモードを特定し、外力との関係からその破損モードに至る確率（破損確率）を求め、破損確率が許容破損確率を下回ることを確認すること、さらには破損モードに至った場合にどの程度まで損傷が進むか、つまりリスクがどの程度生じてそれが許容リスク内であるかを明らかにすることが求められる。

ところが、どの程度まで損傷が進むか？という問いに答えるためには、実際の破損・崩壊現象を忠実に再現し、破損・崩壊現象の追跡を行う必要がある。船体構造は複雑で巨大なシステムであるために、水槽実験などでこれを追跡することは現実的ではなく、数値シミュレーションを実施することが実際的である。

数値シミュレーションによる追跡に当たっては、流体力学的な荷重が船体の変位のみならず構造の変形に依存する、いわゆる流力弾性に留意する必要がある。特に、船体の破損・崩壊が生じると考えられる、大波高中においては流力弾性による荷重の増幅の傾向が大きくなるといえる。

一方で、船体の破損・崩壊現象が発生する際には、船体の構造材料である鋼材は弾性域をはるかに超えて、塑性域に入る。そのために、船体梁の破損・崩壊現象に伴う構造変形については弾塑性を考慮せねばならない。このような船体の‘流力弾塑性現象’を追跡するための‘流力弾塑性解析手法’を新たに創生する必要がある。

2. 研究の目的

本研究は、極限海象中での船体構造の崩壊現象を追跡するための流力弾性、流力弾塑性解析法を創生することを目指す。そのために以下の項目を研究目的とする。

- (1) 衝撃荷重を含む流力弾性応答解析プログラムの作成
- (2) 弾塑性解析理論構築とプログラム作成
- (3) 極限海象の絞込み
- (4) 船体弾塑性解析法の検証方法の検討
- (5) 波浪中崩壊特性を支配する力学的パラメータの抽出

3. 研究の方法

(1) 衝撃荷重を含む流力弾性応答解析プログラムの作成

船体の波浪荷重の評価に衝撃荷重評価を含め、研究代表者が開発を進めている流力弾性解析プログラムに評価結果を組みこむことで、衝撃荷重に対する流力弾性応答解析ができるような拡張を行う。

(2) 弾塑性解析理論構築とプログラム作成
船体の有限変形を考慮して、荷重を計算するプログラムを作成する。さらに、船体構造を二つの剛体でモデル化し、二剛体間に船体縦曲げ最終強度解析プログラム HULLST から計算される非線形な荷重-変位関係を表現する回転ばねを挿入することで、波浪中において船体構造が逐次崩壊する現象を追跡できるような解析法を開発する。

(3) 極限海象の絞込み

長期予測を元に荷重の最大値分布を求め、これを等価的に表現するために必要な数個の短期海象を特定する。

(4) 船体弾塑性解析法の検証方法の開発

(2) で開発された流力弾塑性解析を検証するためには縮尺模型を用いた水槽実験が必須である。このような縮尺模型の設計を行なった例がなく、そこで、完全弾塑性的な挙動特性と、最終強度後の耐力低下する特性、を再現可能な機構について検討を行う。

(5) 波浪中崩壊特性を支配するの力学的パラメータ抽出

(2) により開発した船体弾塑性解析法を用いてパラメトリックスタディを行い、船体の波浪中崩壊現象を特徴づける力学的パラメータの抽出を行なう。

4. 研究成果

(1) 衝撃荷重を含む流力弾性応答解析プログラムの作成

① 衝撃荷重のモデル化

文献調査を行なったところ、当初予定をしていた渡辺、遠山らの衝撃荷重モデルよりも、古典的なフォン・カルマンの衝撃荷重モデルの方が短時間で解析でき、実験により係数の修正を行なうことで実際の精度のよい推定を与えることがわかった。そこで、フォン・カルマンモデルによる衝撃荷重算出のためのプログラムを作成した（図1参照）。

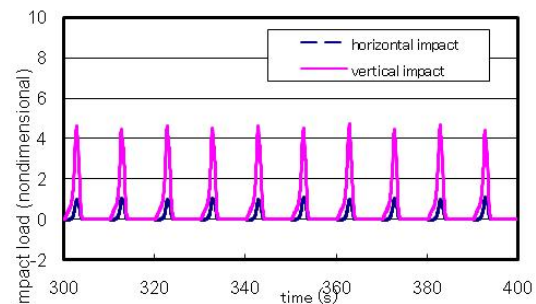


図 1: 衝撃荷重時系列の推定結果

② 流力弾性応答解析プログラムへの取り込み

①の衝撃荷重モデルを、流力弾性応答解析プログラムに組み込む。この解析法ではポテンシャル理論に基づいて流体場を求め、ベル

ヌイの定理より圧力を算出し、時々刻々の自由表面位置を検出し、圧力の積分を行なうことで流体力を評価する。弾性変形については有限要素法に基づいて固有モードを求めておいて、モード法により定式化を行なう。このようにして得られた運動方程式を時間領域で解く。このシミュレーション手法によって、弾性の範囲ながら、大波高極限海象中の流力弾性効果を含めた厳密な応答解析ができることとなった。

このプログラムを用いて極限海象中の大型コンテナ船の振りについての応答解析を行なったところ、向波中でのホイッピングによる縦曲げモーメントの増大や、斜め波中での曲げ振りモードのスプリングングによる20MPa程度の振幅を有する応力の振動現象が推定された。図2には曲げ振りモードのスプリングング荷重を含む極限荷重下の船体構造内応力分布を示す。

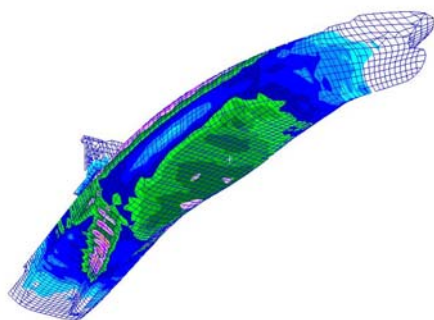


図 2: 極限海気象中の船体応答応力分布

(2) 弾塑性解析理論構築とプログラム作成

流力弾塑性解析理論の構築を行った。流体力を非線形ストリップ法により求め、また、船体を桁として扱う。崩壊現象を表す弾塑性機構として、塑性関節を船体モデル中央に仮定し、別途、Smithの方法に基づいたプログラム HULLST によって算出されるモーメント-変位関係を求めて、その特性を塑性関節に与えた。この理論に基づいて波浪中の船体の崩壊現象をシミュレーションするためのプログラムを作成した。最終強度を迎えた後に船体損傷がどの程度進行するかについての凡その推定が可能となった。

図3は様々なモーメント-変位関係を仮定した場合の、崩壊現象の解析結果を示す。このモデルで解析を行った結果、波浪荷重により船体の曲げモーメントが最終強度に達すると、崩壊が急激に進行するという結果が得られた。また、崩壊が進行する過程で断面に除荷が生じることにより剛性が回復すると、その時点で崩壊の進行が停止することが明らかとなった。波浪中の船体崩壊現象についての洞察を行なった例は世界的になく、きわめてインパクトの大きい結果である。

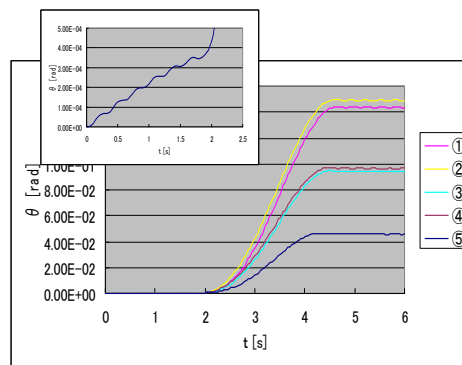


図 3: 崩壊現象時刻歴の例

(3) 極限海象の絞込み

短期不規則海象中の流力弾性を含む時系列応答解析を系統的に実施した。まず長期予測結果と同等な極限荷重の確率分布を与える短期極限海象の同定を試みた。その結果、波高に関しては、17種類中4種類程度以上、縦曲げモーメントに関しては波高と平均波周期の組み合わせで3672種類中98種類程度以上の短期海象を組み合わせれば、2%以下の誤差範囲で長期予測結果と等価な応答を与える極限荷重の分布が得られることを、線形解析の範囲で明らかにした。長期予測による極限荷重の期待値は、ごく限られた厳しい短期海象下の極大応答で支配されるとされてきたが、本結果は、極限荷重の確率分布を得るためには、より多くの短期海象の考慮が必要であることを示しており、極限荷重の統計予測上極めて重要な知見が得られた。

(4) 船体弾塑性解析法の検証方法の開発

(2)で開発された流力弾塑性解析を検証するためには、①解析解との比較を行う、②水槽試験による検証、が考えらる。

①解析解の導出と解析解との比較検証

(2)で導出された理論を元に、微小変形の仮定に基づいて荷重モデルの簡略化を行なった上で解析解を導出し、崩壊現象をいくつかのパラメータで表現することを試みた。このようにして得られた解と、(2)のプログラムによる結果を比較したところ、よい相関関係が得られた。しかしながら、解析解によって検証できる範囲は限られているために、より実際の条件のもとでの波浪中船体桁の崩壊現象に関して検証を行なうことの必要性も明らかとなった。

②縮尺模型による検証の検討

まず、相似模型の要件として、a. 崩壊時の荷重-変位特性を表現できること、b. 水槽で発生可能な波で崩壊すること、c. 固有周波数が波の周波数と一致しないこと、の三つがあることを整理した。

要件bを満たすためには、縮尺模型の強度についての相似性が保たれている必要がある。

そのためには通常の相似模型より強度を低減させる必要があるが、剛性が過度に低下すると要件cが満たされない。この相反する要件を満足する機構として、非線形なバネを用いた機構、材料の座屈変形、曲げ変形を用いた機構などさまざまな機構について検討を行った。

この検討を元に、最終的に水槽試験に最も適当な機構の考案・設計した。図4にはそのアイデアスケッチを示す。最終的な縮尺模型は、船体を前後二剛体でモデル化し、その間に非線形なバネ機構を有する。非線形なバネとして、丸棒から成る試験片の曲げ崩壊現象を用いる。縮尺を1/100とした場合の縮尺模型について設計を行い、全船FEMによる設計の検証を行なった。FEMによる解析の結果、振動の固有周波数は5.2Hz以上と推定され、波浪荷重との干渉が避けられることを確認した。

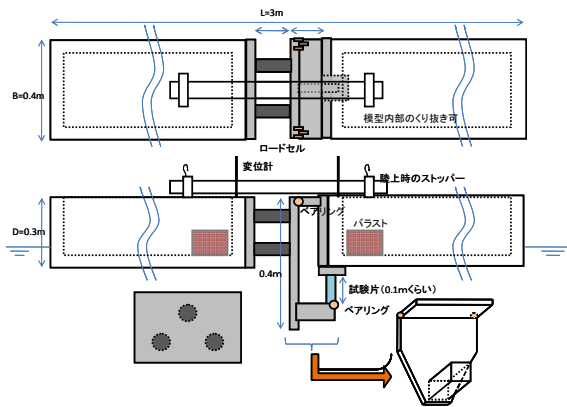


図4: 縮尺模型の設計例

(5) 波浪中崩壊特性を支配するの力学的パラメータの抽出

崩壊がどの程度進行するかは、強度モデルや波浪荷重、船長などによって変化する。強度モデルや荷重モデルを特徴付ける力学的パラメータとして、最終強度後の勾配、最終強度後の耐荷力の低下量、荷重の持続時間、荷重の振幅を選び、パラメータを変えながら、多数のシミュレーションを実施した。

結果を取りまとめた結果、耐荷力の低下量と荷重の持続時間が崩壊進行（塑性変形量）に大きく影響し、耐荷力の低下量が多い場合に崩壊の程度が大きく、また、荷重の持続時間が長いほど崩壊の程度が大きいたことが明らかとなった。設計の観点から言えば、それぞれ、耐力低下の少ない粘りのある構造では崩壊進行が少ないこと、巨大な衝撃荷重が船体構造に作用する場合には崩壊の進行は限定的であることを示しており、船体構造設計に影響を及ぼしうる重要な知見が得られたといえる。

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 1 件)

① Iijima, K., Moan, T. and Yao, T.: Structural Response of a Ship in Severe Seas Considering Global Hydroelastic Vibrations, Marine Structures, 査読有, Vol.21, 2008, pp. 420-445.

[学会発表] (計 7 件)

① Iijima, K., Hermundstad OA., Zhu, S. and Moan, T.: Symmetric and Antisymmetric Vibrations of a Hydroelastically Scaled Model, 査読有, Hydroelasticity in Marine Technology, 2009, Sep 9th, pp. 173-182, Southampton, UK.

② Yao, T., Fujikubo, M., Iijima, K. and Pei, ZY.: Total System Including Capacity Calculation Applying ISUM/FEM and Loads Calculation for Progressive Collapse Analysis of Ship's Hull Girder in Longitudinal Bending, Proc. of the 19th Int. Offshore and Polar Engineering Conference (ISOPE), 査読有, 2009, June 21-26, Osaka, Japan.

③ Itamura, N., Iijima, K., and Fujikubo, M.: Effect of Hydroelastic Vibrations on Fatigue Strength - Ore Bulk Carrier Case -, Proc. of the 23rd TEAM, 査読有, 2009, December 1-3, Kaohsiung, Taiwan.

④ 飯島一博: 対称・反対称な流力弾性振動を考慮した大波高中の船体の全体と局所の荷重効果のための解析法, 日本船舶海洋工学会秋期講演会論文集, 査読無し, 2008, Nov. 25-27, pp.15-18, 東京.

⑤ Kurata, S., Iijima, K. and Fujikubo, M.: Long-Term Extreme Value Distribution of Vertical Bending Moment of a Ship, Proc. of the 22nd TEAM, 査読有, 2008, October 7-9, Istanbul, Turkey.

⑥ Iijima, K. and Fujikubo, M.: Hydroelastic Vibrations of a Container Ship and a VLCC in Waves, Proc. of the 22nd TEAM, 査読有, 2008, October 7-9, Istanbul, Turkey.

⑦ Iijima, K. and Yao, T.: A numerical investigation into anti-symmetric vibrations of a container ship in oblique waves, Proceedings of Osaka Colloquium 2008, 要旨査読有, 2008, Mar 27-29, Osaka.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

飯島 一博 (IIJIMA KAZUHIRO)

大阪大学・工学研究科・講師

研究者番号: 50302758