

平成22年5月10日現在

研究種目：若手研究 (B)
 研究期間：2008～2009
 課題番号：20760559
 研究課題名 (和文) 極海域における船体疲労強度推定法の構築
 研究課題名 (英文) Numerical Study on the Fatigue Strength of the Ship Structure in Arctic Ice Sea
 研究代表者
 澤村 淳司 (SAWAMURA JUNJI)
 大阪大学・工学研究科・助教
 研究者番号：90359670

研究成果の概要 (和文)：

本研究では極海域で航行する船舶の疲労強度予測に必要な氷荷重頻度予測の研究を行った。具体的には、1) 平板氷の割れ破壊の数値解析を行い、限られた条件下ではあるが氷破壊のデータベースを構築した。2) 船が平板氷中を航行する時に船外板が連続して氷と衝突することにより発生する氷荷重の推定が行えるプログラムを開発し、3) 氷条件 (氷厚や氷の強さ) と船の航行条件 (船型や船速、旋回運動など) の違いによる氷荷重を推定し船体に作用する氷荷重頻度分布の予測を試みた。

研究成果の概要 (英文)：

In this study, we developed the numerical method to estimate the repetitive ice load in ship maneuvering in level ice for fatigue assessment of icebreakers and ice merchant ships. 1) Database of the ice breaking force was constructed by the Finite Element numerical simulation. 2) The numerical simulation code was developed to calculate the repetitive ship-hull contact and the ice load in level ice. 3) The ice load and ice breaking channels in various ship and ice conditions were calculated by our developed program.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2009年度	2,000,000	600,000	2,600,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：船舶海洋工学

科研費の分科・細目：極地工学

キーワード：極地工学, 砕氷荷重, 耐氷構造, 流体構造連成解析

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化の影響により北極海周辺の氷が解け北極圏に眠る石油などの資源開発が容易になりつつあり北極海周辺諸国は資源争奪戦の様相を呈している。一方、日本において

は日本とヨーロッパをつなぐ既存の南回り航路よりも短い北極海航路の現実味が増し、サハリンプロジェクトによるサハリン-北海道間の海水域の資源輸送も日本にとって大きな課題である。現在、氷海域を航行する

砕氷・耐氷船舶の構造部材の寸法決定は経験（実験）則によるところが大きい。特に、疲労強度設計については氷荷重の長期予測が困難となり理論的考察がほとんどされていない。このため現在の耐氷船舶は疲労強度に対して最適な構造を有しているとはいえない。氷海域での船舶輸送の増加に伴い耐氷船舶の大型化や高効率な砕氷船の開発が見込まれているが、既存の経験則に頼った設計では、既存船とは構造が大きく異なる新しい耐氷・砕氷船の安全性と経済性を両立した設計は非常に困難である。現在、砕氷・耐氷現象を理論的に解明し、不確定要素の多い経験則だけに頼らない構造設計指針の構築が求められている。

2. 研究の目的

氷海船舶の設計において経験則の依存度が高い理由は、氷海分布の不均一性と極めて複雑な船-氷の干渉（砕氷）現象のため氷荷重の理論的考察による予測が困難であり、正確な氷荷重に基づいた船体構造強度解析ができないからである。特に、疲労強度を推定するには、地域・季節・天候によって大きく変動する氷の中を船舶が稼働年数（20年間）の間に受ける氷荷重を予測し、さまざまな氷条件下での船体構造応答を推定する必要がある。

しかしながら、氷海船舶の構造応答に関する研究は多くは存在せず、その多くが経験や実験によるものである。たとえば、氷現象を2次元平板問題とし、砕氷パターンを実験または計測から得られた形状にするなどの単純化を施し板氷に対する砕氷抵抗を求めたものや、砕氷船の旋回時の砕氷抵抗とアイスチャンネルを船と氷板との幾何学的関係と経験則より求め実験結果と比較したものなどがある。いずれの研究も、船の砕氷性能（砕氷抵抗）の予測に重きを置いた研究であり、構造応答解析に必要な氷荷重の船体分布および時刻歴は予測していない。また砕氷プロセスの多くに経験則や仮定を用いている。

不確定要素の多い経験式のみ依存しない船体と氷の砕氷状態の理論的に考慮した新しい疲労強度設計指針を確立するには、1) 複雑な砕氷仮定を理論的に解明し連続的な氷荷重が予測できる解析方法を確立し、2) 氷荷重の船体分布と時系列データを用い氷荷重下での船体構造解析を実施する。そして、3) 船舶が稼働する間（20年間）に受ける氷荷重と構造応答から疲労強度を推定する必要がある。現在、上記1)の問題がボトルネックとなり氷海船舶の疲労強度設計指針を確立を妨げている。そこで、本研究ではこれら問題（特に1)の問題）を解決し氷の砕氷状態の理

論的に考慮した新しい氷海船舶の船体疲労設計法を構築を目指すことを目的とする。

3. 研究の方法

極海域における船体構造の疲労設計を構築するには、複雑な砕氷/耐氷現象の諸問題を理論的に解明し実設計に適用できる方法を構築する必要がある。以下に砕氷・耐氷船の疲労設計を構築する為のプロセスを示す。

(1) 砕氷時の氷の破壊現象の解明と氷荷重の推定。(2) 砕氷時の連続的な氷荷重（氷荷重の時刻歴と船体回りの分布）が予測できる解析方法を開発。(3) さまざまな砕氷条件下での繰り返し氷荷重の推定。(4) 低温度下での鋼材料の疲労特性の解明。(5) 氷荷重下での船体の各構造部材の構造応答解析の実施。(6) 各航路・気候での長期氷荷重の推定。(7) 船舶の稼働年（20年）での疲労強度の推定。

上記項目(1),(2),(3)は氷海域特有の現象で非常に複雑な現象となり現在においても実測や実験データに頼っていた。項目4),5),6),7)は各航路・気候変動を考慮した氷分布の取得または推定が困難であるが、既存の一般海域での解析手法や設計指針を適用する事ができる。

(1) 氷の破壊現象の解明と氷荷重データベースの構築。

船の移動により氷（固体）と海水（流体）が運動し、船-氷-海水の相互作用により氷が破壊される。このような氷が船体による破壊される現象を再現するために、商用の数値解析プログラムの構造-流体連成 FEM 解析を用いる。船舶がさまざまな氷や航行条件で砕氷する場合を想定し、氷の形状や厚み、船の速度や形状を変えた場合の FEM 解析を氷が破壊する時の荷重・氷形状などを推定する。そして、得られた結果をデータベース化し項目(2),(3)で利用する。

(2) 砕氷時の様々な条件下での連続的な氷荷重とアイスチャンネルの計算。

砕氷時に船は色々な方向（場所で）から色々な大きさの氷荷重を受ける。このような現象を正確に計算するためには、船体と氷が接触する場所と接触条件（たとえば、相対的な衝突速度や相対位置など）を正確に計算する必要がある。氷と船体との衝突判定にコンピューターグラフィックスの分野で用いられる円接触アルゴリズムを利用し、衝突点での船と氷の接触条件を幾何学的に算出する。そして、上記(1)のデータベースにより各接触点での氷荷重や崩壊の範囲（アイスチャンネル）などの破壊状態を算出する。また、氷荷重は氷の機械的性質（曲げや圧壊強度など）だけでなく、氷との衝突による船体運動（直進・旋

回航行時の前後・左右・上下の船体運動)により大きく異なるため、剛体運動シミュレーションによる船体運動を考慮した氷荷重の推定を行う。

(3)氷荷重下での船体構造応答と疲労強度。氷海船舶の構造解析を実施する時の従来の方法は、氷荷重を船と氷が接触する付近の領域(水線面付近にそって氷厚程度の領域を仮定することが多い。)に一定圧力を仮定しているがこれは実現象とは大きく異なる。上記(2)により空間的にも時間的にも不連続な氷荷重が得れる。この氷荷重を用いてFEM構造解析実施し実現象に近い氷海船舶のための船体構造応答解析を実施する。最後に、氷海象の気候・航路毎の氷荷重の長期予測(荷重頻度分布)から疲労強度予測が行える。FEM構造解析や疲労強度予測には一般海域で用いた解析方法が利用できる。

4. 研究成果

本研究の目的は氷の砕氷状態の理論的に考慮した新しい氷海船舶の船体疲労設計法を構築を目指すことであった。3.研究方法に従って研究を進めたが、砕氷現象が非常にランダムで複雑であるため3-(1), 3-(2)に研究期間の多くを費やした。また、本研究の目的を達成するには3-(1), (2)の結果より3-(3)を実施する必要がある。したがって、3-(3)については研究期間中に十分な成果を得ることができなかった。

(1) 氷の破壊と氷荷重データベース

Fig.1は氷の破壊現象を解明するために使用した構造-流体連成FEM解析の解析モデルの例である。様々な氷の形状に対してFig.1に示すような解析モデルを作成し、氷の板厚や材料定数および氷に加える荷重条件を変えた解析を実施した。

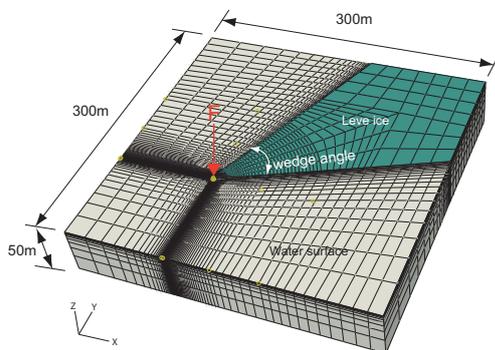


Fig. 1 Numerical Model of Ice-Fluid interaction.

これまで Fig.1 のような 3次元の複雑な氷形状の氷-海水の相互作用を考慮した計算を

行い氷板の曲げ現象を詳細に求めた研究例はない。Fig.2は氷厚1m, 引張り強さ1.0MN/m²の氷の曲げ破壊による氷荷重のデータベースの例である。Fig.2のように破壊現象をデータベース化することにより、時々刻々と衝突条件が変化する氷荷重を迅速にかつ正確に求めることが可能となった。

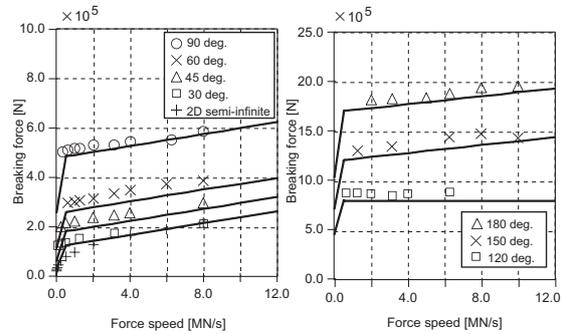


Fig. 2 Database of the Ice Breaking Force.

(2) 氷荷重の時刻暦とアイスチャンネル

Fig.3は船が旋回する時のアイスチャンネル, Fig.4は船がうける氷荷重の時刻暦である。Fig.3に示すように、直進・旋回航行など様々な船の砕氷航行中の氷の割れの様子を少ない計算時間で推定する事ができる。また、Fig.4の氷荷重の時刻暦を用いて船体構造の注目部位での荷重頻度分布を求めることができる。

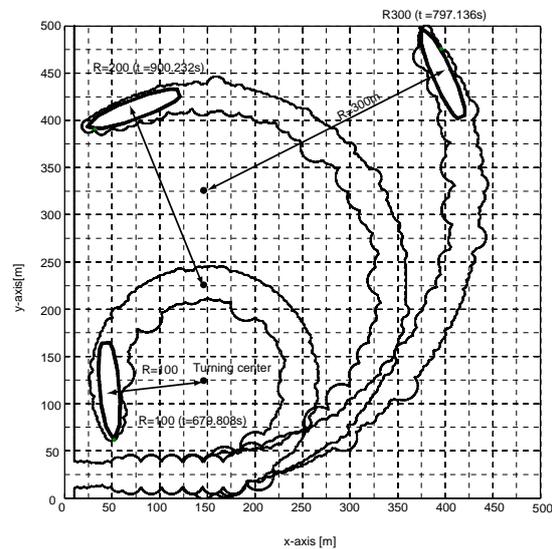


Fig.3 Ice Breaking Channel in Ship Turning Maneuver.

これまでの研究は氷の衝突現象の一つ一つを理論的に計算するのではなく、砕氷時の平均的な状態(たとえば、氷荷重のピーク値を求めるのではなく抵抗値を求める。)しか求め

ることができなかつた、本研究では各衝突現象を正確に捉え、船体運動と氷の相互影響を理論的に考慮した上で、船体を作るアイスチャンネルおよび氷荷重の時刻暦を計算することができる。

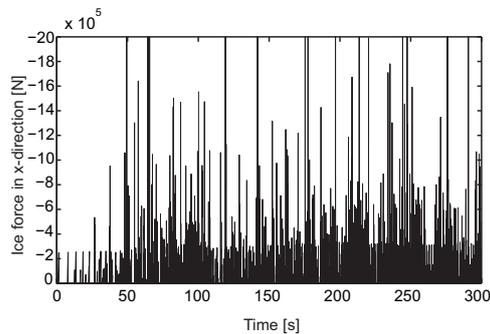


Fig. 4 Time history of the ice breaking force

(3) 氷海船舶の疲労強度

上記(1),(2)の結果を用いることにより危険部位の構造応答解析を行うことができ、さらに累積線形被害則やき裂伝播解析を用いた疲労解析が可能となる。複雑な砕氷仮定を理論的に解明し連続的な氷荷重が予測できる解析方法を確立できなかった事が、氷海船舶の疲労強度設計指針を確立を妨げの大きな原因であったが、(1),(2)の研究により基本的な部分はほぼ解決されたと言ってよい。

(4)まとめ

本研究は氷荷重下での疲労設計を行う上で最も上流側にあり非常に重要である氷荷重の推定に重点を置き研究を進めた。この一連の研究は成果は疲労設計だけでなく、氷海船舶の砕氷効率の高い構造最適設計(製氷性能の向上)や運動性能(砕氷船のコントロールシステムの開発)などにも利用でき非常に有用である。氷海船舶の疲労強度をより正確に導出するためには以下のような課題が考えられる。①同じ海域であっても不均一に分布する氷の強度(機械的性質の不均一性)。②船と氷の衝突時の圧縮崩壊や破壊後の氷の影響。③低温度状態での船体構造の荷重応答。④地域や気象条件によって変化する海水分布の予測。以上の問題を克服する事が今後の課題である。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計5件)

① Junji Sawamura, Takashi Tachibana, Hiroyuki Tsuchiya and Naoki Osawa, Numerical Investigation for the Bending Failure of Wedge-Shaped Floating Ice, Proceeding of 20th IAHR International Symposium on Ice, 査読有, 投稿中

② Junji Sawamura, Takashi Tachibana, Hiroyuki Tsuchiya and Naoki Osawa,

Bending Behavior of Wedge-Shaped Floating Ice Sheet, The 23th Asian Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures, 査読無, Vol.1, 2009, pp.81-85

③ Hiroyuki Tsuchiya, Junji Sawamura, Takashi Tachibana and Naoki Osawa, Numerical Simulation of Ice Force around a Ship Hull in Level Ice, The 23th Asian Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures, 査読無, Vol.1, 2009, pp. 399-404

④ Sawamura J., Riska K., Moan T, Numerical Simulation of Breaking Pattern in Level Ice at Ship's Bow, The proceeding of 19th International Offshore and Polar Engineering Conference, 査読有, Vol. 1, 2009, pp. 600-607

⑤ Sawamura J., Riska K., Moan, T, Finite Element Analysis of Fluid-Ice Interaction during Ice Bending, Proceeding of 19th IAHR International Symposium on Ice, 査読有, Vol. 1, 2008, pp. 191-203

[学会発表](計3件)

① Junji Sawamura, Bending Behavior of Wedge-Shaped Floating Ice Sheet, The 23th Asian Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures, 2009年12月1日, Kaohsiung, TAIWAN

② Junji Sawamura, Numerical Simulation of Breaking Pattern in Level Ice at Ship's Bow, The proceeding of 19th International Offshore and Polar Engineering Conference, 2009年6月24日, Osaka, JAPAN

③ Junji Sawamura, Finite Element Analysis of Fluid Ice Interaction during Ice Bending, 19th IAHR International Symposium on Ice, 2008年7月8日, Vancouver, Canada

6. 研究組織

(1) 研究代表者

澤村 淳司 (SAWAMURA JUNJI)
大阪大学・工学研究科・助教
研究者番号: 90359670

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者