

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 6 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2011

課題番号：22760633

研究課題名（和文）

氷海船舶の氷荷重推定と船体構造応答に関する研究

研究課題名（英文）

Numerical Simulation for the Structural Response under Ice Load on the Ship

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）：本研究は氷海船舶の氷荷重下での船体構造応答を詳細に推定する数値計算手法を確立する事が目的である。本研究により以下の事が達成された。1)これまで実船実験や模型船試験でしか知る事ができなかった氷海船舶が板氷中を航行する時に受ける氷荷重を数値計算によって求める事が可能となった。2) 数値計算によって推定された詳細な氷荷重分布を用い構造応答計算を行った。これにより、航行条件や氷分布と構造応答の関係を明かにする事ができる。

研究成果の概要（英文）：This research developed the numerical simulation to estimate the ice load distribution along the ship hull when the ship is advancing into the level ice. The structural response of the ship stiffened panel under the ice pressure distribution which is estimated by the developed numerical simulation was simulated. The proposed numerical simulation can investigate the detail relationship between the ship maneuver (or ice conditions) and the structural response.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,600,000	780,000	3,380,000

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：氷荷重，構造解析，氷海船舶

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化の影響により極海域での氷が減少すると氷海域での人間活動が容易になる。北極海に眠る豊富なエネルギー資源の開発や北極海を通過してアジアとヨーロッパを結ぶ北極海航路の開発が盛んに行われている。氷海域での経済活動の増加に伴い氷海域での船舶輸送も増加する。それにより、船体の大型化や、より高効率の砕氷（耐氷）能力が

求められ、かつ安全性と経済性を考慮した、これまで以上に厳しい氷海船舶の設計が必要になる事が予想される。

現在、耐氷・砕氷船舶の船体構造の設計指針は実験則によるものが多い。新しい氷海船舶の構造設計を行う場合、従来船の実験データを基にした設計指針では、最適な構造設計が行えたかは不明である。なぜなら、氷荷重は

船の外板形状（特に船首構造）に大きく依存するため、従来船型の過去の実験データでは新型船型に対する氷荷重と構造応答の関係は分からない。このため、実験データの依存度が大きかった従来の設計法に代わり、理論的考察に基づいた数値計算手法を利用した新しい氷海船舶の船体構造設計法の構築が必要となる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、過去の実験データの依存度が大きかった従来の設計法に代わり、数値計算を利用した新しい氷海船舶の船体構造設計法の構築を目指す事である。氷海船舶が通常海域を航行する船舶の設計に比べ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予測が困難であり、氷荷重は実船実験又は模型船実験でしか知る事が出来ず、氷荷重と船体構造応答が理論的に確立されていない事が原因である。そこで、本研究は、1) 氷海船舶の複雑な砕氷過程を理論的に解明し数値計算により氷荷重の船体分布および時系列データを得る。次に、2) 数値計算から得られる氷荷重分布データを用いた船体構造解析手法を提案し、砕氷航行時の氷海船舶の船体構造応答を数値計算により詳細に推定する。

3. 研究の方法

船が氷海中を航行する時の砕氷プロセスはア)船体と氷の接触、イ)板氷の割れ破壊、ウ)氷板が割れた後の氷片の運動の3つに分解される。まず、ア)、イ)、ウ)の現象が厳密に計算できる数値計算手法を個別に開発し、それぞれの計算結果を足しあわせる事により複雑な一連の砕氷プロセスにおける氷荷重の推定を行う。上記イ)の氷板の割れ破壊については、すでに研究者らにより FEM 流体構造連成解析を用いた氷板の曲げ現象の計算が行われ、氷と船体の様々な衝突条件下での氷の曲げ破壊時の氷荷重・氷の割れの時間・氷の割れの範囲のデータベースが作成されている。また、上記ア)に関しても、リアルタイム 3DCG の分野で多様されている接触アルゴリズムを用い、連続した氷-船体との接触点と接触点での接触条件（氷の形状、氷と船体との相対速度など）が計算できるプログラムをすでに開発している。ア)、イ)で開発した数値計算により、船舶が板氷中を進む時の氷の曲げ破壊による氷荷重分布の推定が行える。本研究は新たにウ)の船体周辺に多数浮遊する氷片が船体と衝突する事によって発生する船体周りの氷荷重分布が推定できる数値計算手法を開発する。そして、ア)、イ)、ウ)の数値計算手法を組み合わせ氷板中の船舶が受ける船体外板周りの氷荷

重分布が推定できる計算手法を開発する。

氷荷重下での船体構造応答解析を実施する上で問題となるのが船体外板に作用させる氷圧力分布の設定方法である。実際に船体外板に作用する氷荷重分布を計測する事は非常に困難で研究者らの知る限り厳密に氷圧力分布が計測された例は無い。このため、氷圧力分布は構造側の歪み応答からおよその圧力分布を推定し、それを構造応答計算に用いているのが現状である。この時の氷圧力分布は空間的・時間的に平均化された値で実際の氷圧力分布を表現できていない。本研究は数値計算により得られた氷荷重分布を用いて、平均化されていない実現象に近い氷圧力分布を船体外板に負荷し構造応答計算を実施する。

4. 研究成果

(1) 氷板中を航行する船舶が受ける氷荷重分布の推定。

氷荷重は板氷の曲げによる荷重のみを考慮し、氷の曲げ荷重は有限要素解析(FEM 解析)による流体構造連成計算から求めた板氷の曲げ解析結果から求め、氷と船体の様々な衝突条件下での板氷の曲げ破壊時の氷荷重・氷の割れの時間・氷の割れの範囲のデータベースを作成した。本研究は新たに氷厚のパラメーターをデータベースに追加した。船体外板と板氷の接触点の計算には、物体（船体および氷）表面に配置された接触判定円を用いた接触判定アルゴリズムを用いた。これにより、様々な砕氷条件下での船の水線面周りの氷荷重分布が計算する事が可能になった。

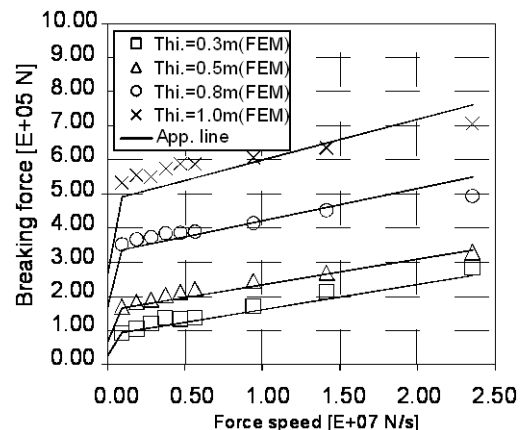
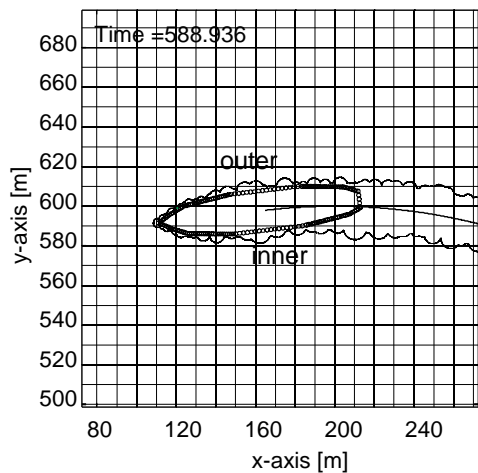
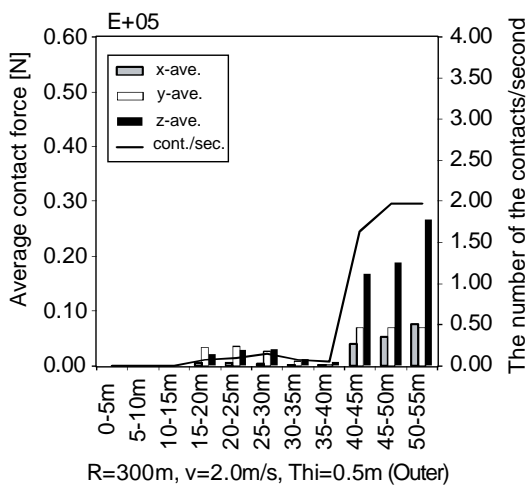


Fig. 1 Example of the data base of the icebreaking force as a function of force speed with different ice thickness. (Wedge angle=90 degrees).

Fig.1 に新たに作成したデータベース（氷厚をパラメータにした衝突速度と氷荷重の関係図）の例を示す。Fig.2 に計算により得



(a) ice breaking channel



(b) Ice force distribution along the ship hull

Fig.2 Ship maneuvering in level ice.

られた船舶が板氷中を航行する時の氷の割れの様子と、船体外板周りの氷荷重分布（船体と氷との衝突回数）を示す。

(2) 氷片運動により船舶が受ける氷荷重分布の推定。

氷片運動による船体周りの氷荷重の数値計算に物理ベースモデリングを用いた。氷片は剛体を仮定し3次元問題は6自由度の剛体運動を考えた。氷片同士および氷片と船体との

衝突判定には衝突判定球による衝突判定アルゴリズムを用いた。氷片に働く外力は、衝突点において法線方向に衝突力、接線方向に摩擦力を考えた。流体力として浮力と抗力を考えた。船の剛体運動は考えず一定速度で直進運動をすると仮定し、船に働く外力は氷片からの衝突力と摩擦力を考えた。衝突する2物体に働く力は非常に短時間であると仮定し衝突力の計算には力積を用いた。これと(1)で用いた計算プログラムを足しあわせる事により、船舶が板氷中を航行する時に発生する一連の氷荷重（氷の曲げ破壊による荷重と板氷が割れた後の氷片の運動による荷重）の推定が行える。Fig. 3 に2次元モデルにおける氷片が船体周りを運動する様子を示す。2次元モデルの氷荷重分布は過去に行われた2次元模型による実験結果と比較され良好な一致を示した。また、3次元モデルの計算も行われ、氷片運動は船体外板の3次元曲面の影響を大きく受ける事が示された。

(3) 船体外板に作用する氷圧力分布の推定と船体構造応答の計算。

上記(1)と(2)の数値計算方法を用いて船体構造応答に必要な氷荷重圧力分布を求めた。船体外板と氷板の衝突点での接触面積は、船の進行により氷端が圧壊される事により増加すると仮定し、船と氷板との幾何学的な相対位置により求めた。氷板が割れる時間は非常に短く氷板の撓みが無視できるとし、さらに、船体と氷端の接触面を平面と仮定した。Fig.4 に計算で求めた氷圧力と氷圧力負荷面積の関係を示す。計算で求めた氷圧力・面積の関係は実験結果とよく一致する。次に、この氷圧力・面積の結果を用いて構造応答解析を行った。対象構造物は単純な船体防撓パネル構造を考えた。氷圧力分布は(1)と(2)の計算で得られた、衝突位置（船体外板に点在して分布）での衝突面に氷荷重を一様に負荷させ FEM 計算を実施した。Fig.5 に計算による構造物の相当応力の分布図を示す。本研究のように実現象に近い圧力分布を与えた方が、従来手法による空間的・時間的に平均化された氷圧力分布を負荷した場合より変形量・応力共に大きくなる事が示された。

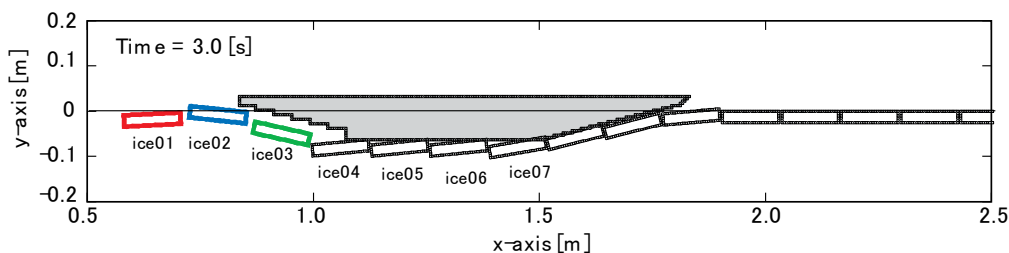


Fig.3 Rotating and sliding of the broken ice pieces in 2D model

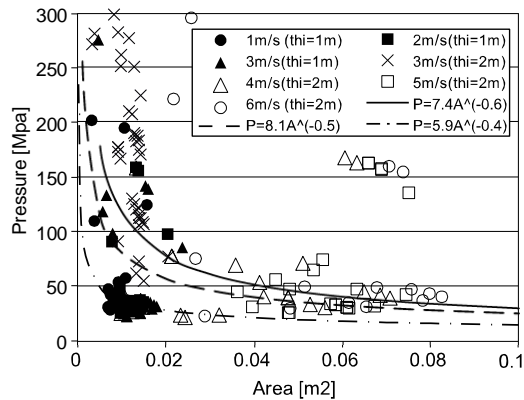


Fig. 4 Ice pressure-area relationship.

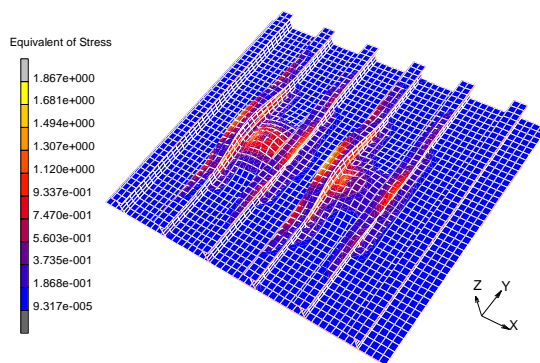


Fig. 5 Equivalent stress distribution with local ice pressure distribution (Disp. \times 7064).

(5) まとめ

本研究により平坦氷中を航行する船舶の航行条件による氷圧力分布と船体構造応答の関係を知る事が可能になった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 7 件)

- ①澤村淳司, 橘貴志, 氷荷重をうける船体の氷圧力分布の推定と構造応答の数値計算, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 査読無, 2012, pp 277-278
- ②澤村淳司, 氷板の割れと氷片運動を考慮した氷海船舶に作用する氷荷重の数値計算, 寒地技術論文・報告集 Vol.27 第 27 回 寒地技術シンポジウム, 査読有, 2011, I-024
- ③Junji Sawamura, Takashi Tachibana, Numerical Investigation of the Ice Force Distribution around the Ship Hull in Level Ice, Proceeding on the 21st International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions, 査読有, 2011, POAC 11-035
- ④Junji Sawamura, Ryouhei Kikuzawa, Takashi Tachibana, Masaya Kunigita, Development of a Numerical Simulation for

Rotating and Sliding of the Ice Floes along a Ship Hull, Proceeding on the 21st International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions, 査読有, 2011, POAC 11-036

⑤澤村淳司, 菊澤遼平, 数値計算による船体周りの氷荷重分布の推定, 寒地技術論文・報告集 Vol.26 第 26 回 寒地技術シンポジウム査読有, 2010, pp 12-16

⑥Sawamura, J., Tachibana, T., Tsuchiya, H., and Osawa, N., Numerical Investigation for the Bending Failure of Wedge-Shaped Floating Ice, Proceeding of the 20th IAHR International Symposium on Ice, 査読有, 2010, No.59

⑦Sawamura, J., Tsuchiya, H., Tachibana, T. and Osawa, N., Numerical Modeling for Ship Maneuvering in Level Ice, Proceeding of the 20th IAHR International Symposium on Ice, 査読有, 2010, No.64

〔学会発表〕(計 6 件)

①澤村淳司, 氷荷重をうける船体の氷圧力分布の推定と構造応答の数値計算, 日本船舶海洋工学会講演会 (平成 24 年春期講演会), 2012 年 5 月 17 日, 兵庫県, 神戸

②澤村淳司, 氷板の割れと氷片運動を考慮した氷海船舶に作用する氷荷重の数値計算, 第 27 回 寒地技術シンポジウム, 2011 年 12 月 1 日, 北海道 札幌市

③Junji Sawamura, Numerical Investigation of the Ice Force Distribution around the Ship Hull in Level Ice, 21st International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions, 2011 年 7 月 14 日, Montreal, Canada

④Junji Sawamura, Development of a Numerical Simulation for Rotating and Sliding of the Ice Floes along a Ship Hull, 21st International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions, 2011 年 7 月 11 日, Montreal, Canada

⑤澤村淳司, 数値計算による船体周りの氷荷重分布の推定, 第 26 回 寒地技術シンポジウム, 2010 年 12 月 10 日, 北海道 札幌市

⑥Sawamura, Numerical Investigation for the Bending Failure of Wedge-Shaped Floating Ice, 20th IAHR International Symposium on Ice, 2010 年 6 月 15 日, Finland Lahti

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