



Title	Calculation of Ship Hull Fatigue Damage caused by Local Ice Loads in Ice-covered Waters
Author(s)	韓, 月
Citation	大阪大学, 2018, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/70770">https://doi.org/10.18910/70770</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

## Abstract of Thesis

Name ( 韓 月 )	
Title	Calculation of Ship Hull Fatigue Damage caused by Local Ice Loads in Ice-covered Waters (氷荷重下にある船体外板の疲労寿命の数値計算)
<p><b>Abstract of Thesis</b></p> <p>Fatigue damage for ship navigating in ice-covered waters causes not only threat to human life and ship safe navigation, but also serious damage to Arctic environment. Fatigue assessment procedure for ice-going ships, however, has not been fully established yet. Under the circumstances, the fatigue damage is calculated based on the measured ice load data for limited ship types and ice conditions. Therefore, the applicability of the present fatigue assessment procedure for new structural components and new ship routes has not been confirmed. In order to perform fatigue assessment for ice-going ships correctly, the characteristics of the ice load for various ship types and ice conditions have to be clarified. In this research, new numerical ice load models for ships sailing into various ice conditions (i.e. level ice, ridge ice and pack ice) are developed. The fatigue assessment is performed based on the load sequence simulated by these numerical models. The thesis is composed of the following seven chapters.</p> <p>Chapter 1 gives the literature review of ice loads and fatigue calculations for ice-going ships. The necessity of the numerical models for ice loads, also, the objectives and significance of this study are shown.</p> <p>Chapter 2 propose a new ship motion simulation technique for ice-going ships. In this method, the ship motion is calculated by a step-by-step numerical integration, and the coupling problem between ship motion and excitation forces / moments is solved by iteration.</p> <p>Chapter 3 presents the numerical modeling for ship in level ice. The developed model consists of the ship-ice contact model and empirical formulas of icebreaking, and predicts the time history of ice loads around the waterline. The numerical results of ice loads and stress agree with those of the field measurements. This demonstrates the applicability of the developed model to the estimation of fatigue damage due to level ice loads.</p> <p>Chapter 4 develops a new numerical model of ice loads in ridge ice. A probabilistic ice field is generated based on field observations. A modified Rankine's plasticity model is applied in order to estimate the local ice loads in ridge ice. The numerical ice load and stress agree with those measured in scaled and full-scaled model tests. This demonstrates the applicability of the developed model to the estimation of fatigue damage due to ridge ice loads.</p> <p>Chapter 5 presents a new numerical model for ship in pack ice. The ice floes are represented as hundreds of circular disks with random sizes. Ship-ice collisions and ice-ice contacts are calculated using discrete element method (DEM). Global and local ice loads are obtained from the proposed model, and the statistic properties of ice-induced stress is analyzed. The numerical ice load and stress agree with those of the field measurements. This demonstrates the applicability of the developed model to the estimation of fatigue damage due to pack ice loads.</p> <p>Chapter 6 presents an example calculation of fatigue damage. The ship's transversal frame at bow shoulder area, where the local fatigue damage should be serious, is chosen as the analysis target. The real ice conditions are idealized as the combination of different stationary ice conditions of level ice, ridge ice, and pack ice. The ice loads data are obtained from the numerical models proposed in Chapter 3, 4 and 5. The long-term statistic of ice loads is approximated by the Weibull distribution. The fatigue stress on the ship hull plate is estimated using structural beam theory. The fatigue damage is finally calculated by the Palmgren-Miner cumulative damage rule. The fatigue damage evaluations using the numerical ice loads and the conventional fatigue theory are discussed through comparison with those of field data. It is shown that the proposed numerical methods can estimate the fatigue damage in various ice conditions such as level ice, ridge ice and pack ice, instead of field measurements.</p> <p>Chapter 7 summarizes the conclusions of the main points in this study, and provides several recommendations for future work.</p>	

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏名(韓月)		(職)氏名
論文審査担当者	主査	教授 大沢直樹
	副査	教授 藤久保昌彦
	副査	准教授 飯島一博
	副査	教授 金野祥久(工学院大学工学部機械工学科)

## 論文審査の結果の要旨

氷海中を航行する船舶で疲労による構造破壊が発生すると、人命や船舶の安全確保が困難になるだけでなく、氷海環境に重大な影響を及ぼす。氷荷重下での船体構造の理論的疲労損傷度推定法は確立されておらず、現在は、限定した船種・氷況で実施された実船応力計測に基づく疲労強度評価が行われている。しかしながら、実船応力計測データは質・量ともに不十分であり、新しい船体構造様式や、新しい航路に対する、既存の疲労損傷度評価の有効性は保証できない。この問題の解決策のひとつとして、実測データに代えて数値シミュレーションから得た氷荷重データを用い疲労強度評価を行うことが考えられる。本研究では、平坦氷 (level ice), 流氷 (pack ice), 氷脈氷 (ridged ice) 中を航行する船舶に作用する氷荷重の時系列数値シミュレーション手法と、その結果を用いた疲労強度評価法が提案されている。本論文は以下の 7 章から構成されている。

第 1 章では、氷海船舶の氷荷重時刻歴推定法と疲労強度評価法に関する既往研究が調査され、平坦氷・流氷・氷脈氷中の氷荷重時刻歴を推定する数値シミュレーション手法と氷海中の疲労強度評価法が未確立であることが示され、その結果をふまえ本研究の目的と意義が示されている。

第 2 章では、逐次積分による氷海中の船体運動計算理論が示され、氷外力・モーメントと船体運動の連成問題を弱連成反復法により解く手法が提案されている。

第 3 章では、平坦氷中の連続碎氷計算モデルが提案されている。提案モデルにより船体に作用する大域的・局所的氷荷重分布が推定され、氷荷重下の船体構造応力応答の統計的特性が計算されている。計算モデルの有効性は、計算結果と実船応力計測結果を比較して検証されている。提案モデルは、平坦氷中を航行する船舶の疲労強度推定に必要な氷荷重確率分布を、実船応力計測によらず数値シミュレーションで推定することを可能にしている。

第 4 章では、氷脈氷中の氷荷重数値シミュレーション手法が提案されている。観測結果に基づいて氷脈氷の出現確率モデルが構築され、修正 Rankine 塑性モデルを用いた氷脈氷中の氷荷重推定モデルが提案されている。提案荷重推定モデルでは、大域的荷重推定にしか適用例がなかった氷脈氷破壊モデルが、船体・氷間の相互接触問題に適用できるよう改良されている。これにより、これまで困難だった氷脈氷中の局所的荷重推定が実現されている。

第 5 章では、流氷中の氷荷重数値シミュレーション手法が提案されている。流氷盤は多数のランダムな半径を持つ円板で表現され、船体・氷盤間および氷盤・氷盤間の接触による氷荷重は Discrete-Element Method (DEM) により評価されている。種々の氷条件下 (氷厚、氷半径、氷密接度) で提案手法により大域的・局所的氷荷重が推定され、船体構造応力応答の統計的特性が計算されている。提案手法の有効性は、応力応答特性の計算結果を実験結果と比較して検証されている。提案数値シミュレーション手法は、流氷中の船舶の疲労強度推定に必要な氷荷重確率分布を、実船応力計測によらず数値シミュレーションで推定することを可能にしている。

第 6 章では、第 3 章から 5 章で計算した氷荷重データを用いた疲労損傷評価の数値例が示されている。氷荷重の長期統計は Weibull 分布で近似され、船体ショルダー部の外板構造のフレーム間に分布氷荷重が作用した場合の疲労評価応力が梁理論により評価されている。各氷況 (平坦氷、流氷、氷脈氷) に対する氷荷重が計算され、Palmgren-Miner

則により疲労被害度が計算されている。計算結果の有効性は、計算された疲労被害度を、実船応力計測結果から計算された疲労被害度と比較して検証されている。これにより、実測データに代わり数値計算から得られた氷荷重推定結果を用いることで、氷荷重下にある船体構造の疲労損傷度が計算できることを初めて明らかにしている。

第7章では本研究で得られた成果と今後の課題を総括し、本論文の結論を述べている。

以上のように、本論文では、実測が困難な船体・氷間の相互影響を考慮できる氷荷重数値計算モデルと、その結果を用いた疲労強度評価法が初めて提案され、既存の実測データとの比較から、その精度と有効性が検証されている。本論文の成果により、実測データがない船種、氷況であっても砕氷船の疲労強度評価が可能になり、氷荷重下にある船舶の構造健全性評価技術の高精度化に大きく貢献することができる。

よって本論文は、博士論文として価値あるものと認める。