

## 船舶と単独氷塊との衝突に関する安全性評価手法の検討

鳴原 達也<sup>1</sup>、金野 祥久<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 工学院大学大学院 工学研究科

<sup>2</sup> 工学院大学 工学部

### Examination of risk assessment method on collision between a ship and a bergy bit

Tatsuya Shigihara<sup>1</sup> Akihisa Konno<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Graduate School of Kogakuin University

<sup>2</sup> Kogakuin University

#### 1. 研究目的

北極海域の氷の減少により，通常船舶が北極海航路に進入しやすくなっている一方で，極点付近の多年氷やグリーンランドなどの氷河から離脱した単体の浮氷が北極航路に増加しているため，通常の船舶が氷塊に衝突するリスクはむしろ増加している．船舶が氷塊と衝突する状況を解析し，リスクを評価できることが望ましい．しかしこのような状況の研究例は限られ，実験データや解析の積み上げが十分とは言い難い．そこで本研究では，上記の問題に実験と数値解析の両面から取り組む．これまでの研究<sup>[1]</sup>で小規模の模型試験装置を作製し，模型船舶と氷片との衝突実験を実施するとともに，同様の条件で船舶と氷片が衝突する直前までの状況の数値解析し，互いによく一致する結果を得た．本研究では実船スケールの解析を実施し，またこれを用いた衝突時の荷重推定手法を提案する．

#### 2. 研究方法

本研究では，過去の研究<sup>[1]</sup>と同じ船型を用いつつ，レイノルズ数とフルード数を実船と同様の値に設定して実船に相当する数値解析を行う．数値解析には，数値流体解析ソフトウェア STAR-CCM+v8 を用いた．数値解析には水面の表現に VOF 法，船舶と氷片の移動にオーバーセット法，氷の運動には DFBI を用いて解析を行った．

また，本研究では正面衝突時の荷重の見積もり方法を以下のように提案する．

1. 数値解析を用いて船舶と氷塊の相対速度を得る．
2. 運動量保存則を用いて衝突後の速度を求める．ここで衝突は完全非弾性衝突とする．

$$m_s v_s + m_i v_i = (m_s + m_i) v \leftrightarrow v = \frac{m_s v_s + m_i v_i}{m_s + m_i}$$

ここで， $m_s$ は船の質量， $m_i$ は氷の質量， $v_s$ ， $v_i$ は衝突直前の船と氷の速度とする．

3. 衝突後の速度を用いて以下のように衝突によるエネルギー消費量を求める．

$$\Delta E = \frac{1}{2} m_s v_s^2 + \frac{1}{2} m_i v_i^2 - \frac{1}{2} (m_s + m_i) v^2 = \frac{1}{2} m_s v_s^2 + \frac{1}{2} m_i v_i^2 - \frac{1}{2} (m_s + m_i) \left( \frac{m_s v_s + m_i v_i}{m_s + m_i} \right)^2$$

4. 求めたエネルギー消費量を用いて Daley and Kim<sup>[2]</sup>の解析手法より以下の式で船舶にかかる荷重を求める．

$$F_n = P_0 f_a^{(1+ex)} \left( \frac{\Delta E (d(1+ex) + 1)}{P_0 f_a^{(1+ex)}} \right)^{\frac{d(1+ex)}{d(1+ex)+1}}$$

ここで， $f_a$ ， $d$ は衝突部分の氷の形状により決まる定数である． $P_0$ ， $ex$ は氷の強度による定数だが，本研究では Daley and Kim<sup>[2]</sup>と同じ値を用いる．

#### 3. 解析結果及び結論

図1に衝突直前までの船を上から見た様子の数値解析の様子を示す．本解析では，船の速度は5ノットと仮定した．図2に進行方向の右側からの衝突直前の様子を示す．実船の数値解析により衝突直前の氷片の速度は0.812m/s（船速の31.6%）になった．STAR-CCM+v8は衝突が扱えないため船舶と氷片が近づくと解析が強制的に止まる．その時の船と氷の間の距離は約1.8mになった．

Daley and Kim<sup>[2]</sup>の解析手法より船舶への荷重を計算する．その際に用いるパラメータを Table1 に示す．

**Table 1. Example vessel and ice parameters**

Parameter		value	unit
Mass of the ship	$M$	150	kT
Ice pressure term	$P_0$	3.0	MPa
Exponent on pressure-area function	$ex$	-0.1	
Pyramidal angle	$\phi$	150	deg.
Representative length of the ice		20	m
Density of the ice	$\rho$	900	kg/m <sup>3</sup>

本研究では、レーダで見つけることが困難な氷塊との衝突を想定している。そのため氷片の直径を 20m と仮定した。また氷の体積を球で求め、衝突する部分は鋭い方が、荷重が大きくなると想定されるため衝突する部分は四角錐形状と仮定した。

解析の結果より船舶にかかる荷重は 9.5MN であり、9.5MN に耐えられるように設計することによって直径 20m の氷塊と衝突しても安全である。

氷の衝突直前の速度を、上記の結果を敷衍して船速にかかわらず 31.6% と表せると仮定し、船速 10 ノットまでの範囲で衝突時の最大荷重を求めた結果を Fig. 3 に示す。Daley and Kim<sup>[2]</sup>では船の最大耐荷重を 3.40MN と見積もっているのをこれを適用すると、本研究では氷荷重が最大耐荷重を超えない最大船速は 1.2m/s(2.3 ノット)となった。

今後は本評価法を船舶と氷塊の衝突位置の差異を考慮した解析に拡張していく。

#### 4. 参考文献

- Shigihara T, Ishibashi D, Konno A (2015) Experimental and Numerical Investigation of a Model-Scale Ship and Ice Floe (Second report). Proc 23<sup>rd</sup> Int Conf Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions.
- Daley C, Kim H (2010) Ice Collision Forces Considering Structural Deformation. 29<sup>th</sup> Int Conf Ocean, Offshore and Arctic Eng 4:817–825. doi:10.1115/OMAE2010-20657

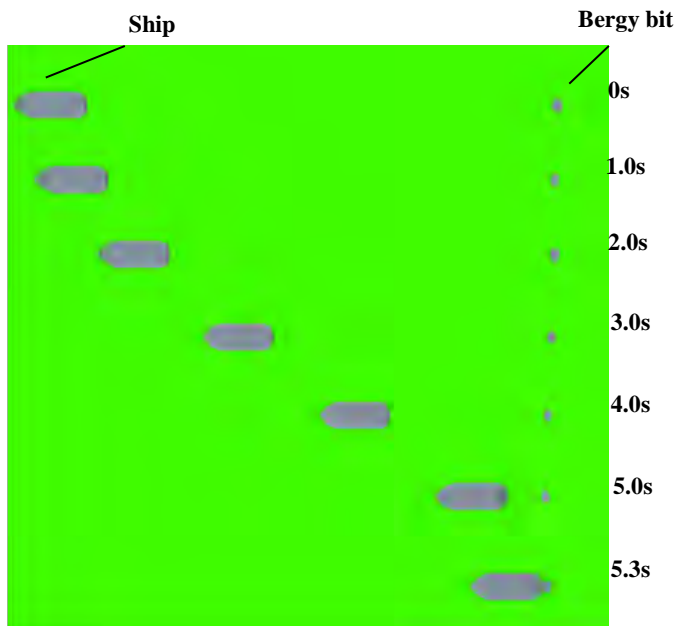


Fig1. Simulation results, top view

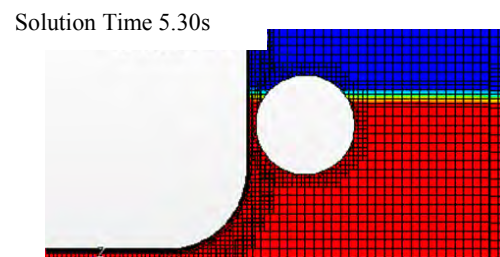


Fig2. Simulation results of just before the collision, starboard side view

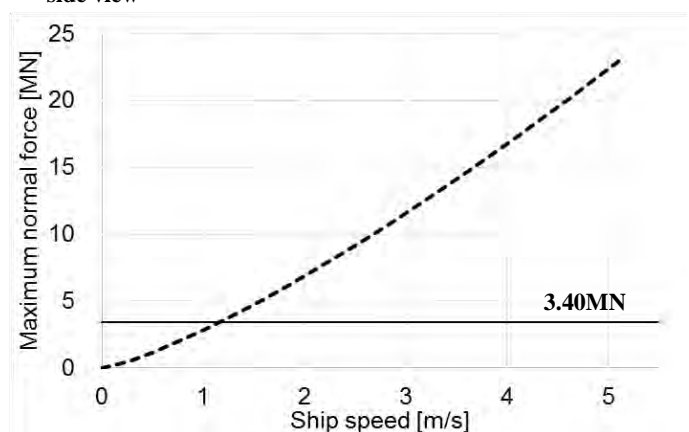


Fig3. Calculated maximum normal force vs. ship speed