

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2007～2008年

課題番号：19360401

研究課題名（和文） 中規模スケール実験に基づく船体氷荷重の研究

研究課題名（英文） A Study of Ice Loading on Ship Hulls by way of Medium-Scale Test

研究代表者

泉山 耕（IZUMIYAMA KOH）

独立行政法人 海上技術安全研究所・流体部門・グループ長

研究者番号：40358403

研究成果の概要：

本研究では、氷の存在する海域である「氷海域」を航行する船舶の船体に、周囲の氷との接触による発生する「船体氷荷重」について研究を行った。本研究の特徴は、その研究手法にある。本研究では、船舶と氷の干渉現象を、実現象の1/5から1/10程度のスケールである「中規模スケール」で再現した水槽実験により、船体氷荷重の特性についての知見を求めることを試みた。船体氷荷重の発生メカニズム・強度は、船体各部において異なるが、本研究では、傾斜した船体外板が氷を曲げ割りながら進む船首部と、鉛直に切り立った船体外板が氷縁部と接触する船体中央部の2領域について研究を行った。

船首部についての研究では、荷重の挙動が大きく2種類に分けられることが示された。その一つは荷重が連続した細長い領域に発生するものであり、他方は、短い領域に荷重が集中するタイプである。これらによりフレームに発生する剪断歪は後者の方が大きい。さらには、荷重領域が短いほど荷重強度が高まることも示された。一方船体中央部に発生する荷重については、中規模スケール実験に加えて、荷重の全体的特性を見るために模型実験（縮尺1/36）も実施した。模型実験結果より船体中央部では船首部に比べて荷重の発生頻度は低いものの、荷重が発生した場合の強度は船首部よりも高まる可能性があることが示された。

本研究の結果を氷海船舶の船体構造設計における氷荷重の取扱いに比べると、次の2点が指摘できる。第一に、設計では一般に水平方向に延びた領域に分布する氷荷重モデルが用いられるが、本研究の結果は荷重がもっと狭い領域に集中し、さらには設計対象とすべき高荷重ほど荷重の集中度が増すことを示唆している。第二に、設計氷荷重の船体周りの分布は、船首部で最も高く船体中央部・船尾部と低下するように与えられることが一般的であるが、本研究の結果は船体中央部においても高荷重が発生する可能性を示している。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	6,700,000	2,010,000	8,710,000
2008年度	5,400,000	1,620,000	7,020,000
総計	12,100,000	3,630,000	15,730,000

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：極地、海上安全、船舶工学、船体氷荷重

1. 研究開始当初の背景

氷の存在する海域「氷海域」における海上

交通量が増大し、今後もその傾向は続くと思われる。具体的には、日本近傍ではサハリ

ン大陸棚資源の開発が本格化し、流水の発生する冬季オホーツク海においても開発された資源の輸送が開始されている。一方、オホーツク海同様に季節海氷域であるバルト海においても、タンカーを中心に航行量が増大している。さらに北極海では、膨大な量の油・ガス資源の開発の動きに伴って、これらを生産するための氷海用タンカーなどの建造が続いている。北極海についてはこの他、地球温暖化に伴う海氷量の減少を背景に、ここを航路として利用しようとする検討も為されている。

このような氷海域における船舶の安全性を考えるとときには、通常海域とは異なる検討が必要となるが、その最も重要かつ基本的な要素が、船体が周囲の氷から受ける荷重である「船体氷荷重」である。船体氷荷重は通常の開水域において船体に発生する流体力とは全く異なった特性を有し、これに十分に耐えることのできない船舶には各種の損傷の可能性があり、最悪の場合には沈船に及ぶ場合もある。このような事故は、乗員・輸送物資等の安全を脅かすのみならず、万が一油流出等が引き起こされた場合は、脆弱な氷海域の海洋環境に重大な被害を与えることとなる。

このように、船体氷荷重は、氷海域を航行する船舶の設計・建造・オペレーションにとって極めて重要な要素であるが、未解明な部分も少なくない。例えば、氷海船舶の設計基準として、各国の船級協会等は船体氷荷重の算定式を与えているが、これらは氷による船体損傷例等のデータを積み重ねた結果得られた経験的算定式であることがほとんどである。氷海域における船舶の航行の増大が予想される現在、船体氷荷重についてのさらなる理解が求められる。

2. 研究の目的

本研究では、船体氷荷重の特性について明らかにすることを目的に研究を行った。船体氷荷重の発生メカニズム・強度等は、氷荷重の発生シナリオによって異なる。この発生シナリオには様々な要因の組み合わせにより形成されるが、その一つが氷の状況、氷況である。船舶が遭遇する氷況は様々であるが、本研究では、最も基本的な氷況として、一様の厚さを有する氷板である平坦氷内を船舶が航行する状況を対象として、この中を船舶が航行する際に船体に発生する氷荷重の特性について知見を得ることを目的として研究を行った。

また、荷重発生シナリオは、船体の各部によっても異なる。本研究では、氷と船体との干渉現象が異なる、船首と船体中央部の2領域に分けて研究を行った。船首部では氷は傾斜した船体により曲げ破壊される。このとき

船体と接触した氷は破碎（クラッシング）を起こしながら船体に荷重を与え、曲げにより氷板が破壊するときこの荷重が解放される。一方、船体中央部においては、船首での砕氷により氷板に形成された水空き部「チャンネル」の氷縁部とほぼ鉛直に切り立った船体外板との干渉が発生する。この時の氷の破壊モードはクラッシングが卓越する。本研究では、このように発生シナリオの異なる船体2領域について、それぞれ船体氷荷重の特性を評価することを目的とした。

3. 研究の方法

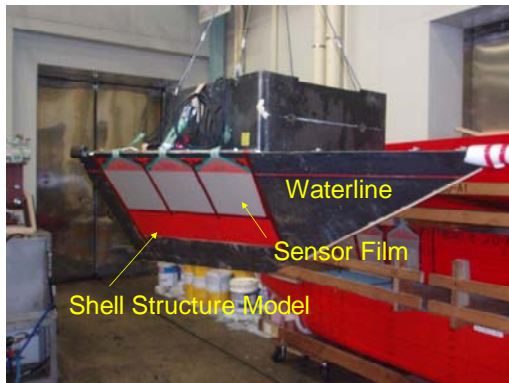
本研究の特徴はその研究方法にある。従来、船体氷荷重の問題の研究には、実船舶において氷荷重に対する船対応答を計測する実船実験が主な研究手法である。これにより、実現象を直接計測したデータを得ることができ、計測対象は氷荷重そのものではなくこれによる船体構造応答（各部材の歪）であり、氷荷重はこれに基づいて計算される。これに対し近年、海上技術安全研究所では、氷海水槽における模型実験による船体氷荷重の研究を行っている。ここではフィルム状の圧力センサーを張り付け模型船を水槽に成長させた模型氷板の中を曳引する。センサーには約 2000 点の感圧ポイントがあり、圧力の分布を得ることができる。この手法により氷から受ける荷重の直接計測が可能となるが、氷の特性などに基づく縮尺影響を考慮すると、これから直接実現象の氷荷重を推定するには至っていない。以上のような実船及び模型実験の特性を考慮し、本研究では、両者の中間の 1/5 から 1/10 程度の縮尺で船体氷荷重の発生を再現するとともに、氷荷重と船体構造応答の両者を同時に計測する手法により研究を行った。3 種類の研究手法の特徴を表 1 にまとめる。

表 1 各研究手法の比較

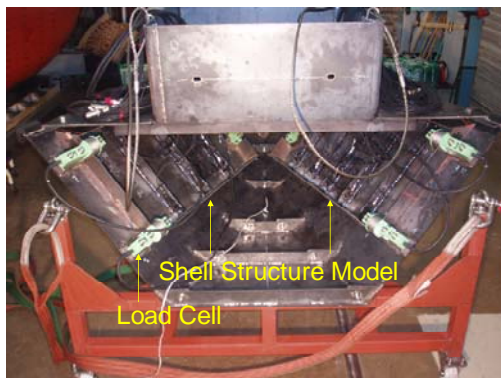
	実船実験	模型実験	本研究
縮尺	1	1/30 内外	1/5-1/10
氷荷重	×	○	○
応答	○	×	○

図 1 は実験に供された船首部模型である。本模型は、氷海用船舶に最も典型的な楔形船首形状を簡略化した形状を有する（図 1 (1)）外板上には荷重計測部が設けられ（船体上の赤く塗られた部分）、この上に圧力センサーフィルムが設置されている。荷重計測部は、実際の船舶の構造に模して、外板プレートとフレームより成っている（図 1 (2)）。これらのプレートとフレームの各所には歪ゲージが張り付けられている。また、荷重計測部は模型にロードセルを介して取り付けられ、こ

れに働く全体荷重を計測することができる。図2は実験風景であり、模型が平坦氷板中で曳引されている。



(1) 模型外観



(2) 模型内部

図1 中規模スケール模型

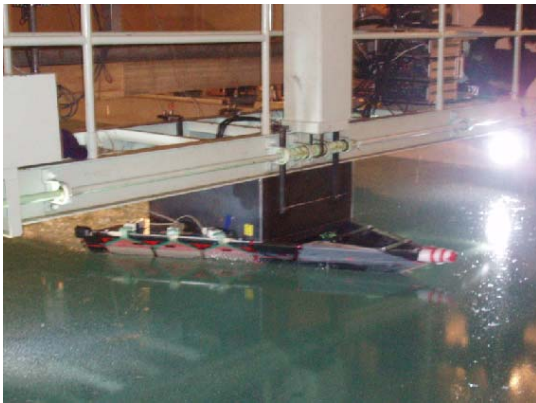


図2 実験風景

一方、船体中央部に発生する氷荷重については、まず模型試験が行われた。これは、上述の海上技術安全研究所に行われている試験であり、縮尺 1/36 の氷海用商船模型に圧力センサーシートを設置して氷海水槽における実験に供した。図3は供試模型船の写真であり、センサーシートが8枚設置されている。本模型船を用いて平坦氷板中での自由構想試験を行い、センサーに働く氷荷重の計測を行った。

これに引き続いて中規模スケール実験も実施した。この実験のために氷クラッシング試験装置(図4)を作成した。本装置では、船首部模型に使用した荷重計測部の表面に対して氷板縁が直角に接触しながら移動する状態で荷重・歪などを計測する。この装置の一方には氷サンプル(50cm 四方程度)が取り付けられ、これに対して荷重計測部が押し当てられながら移動して氷をクラッシング破壊する。荷重計測部に発生する歪・全体荷重については、船首部模型同様に歪ゲージ・ロードセルによりそれぞれ計測した。

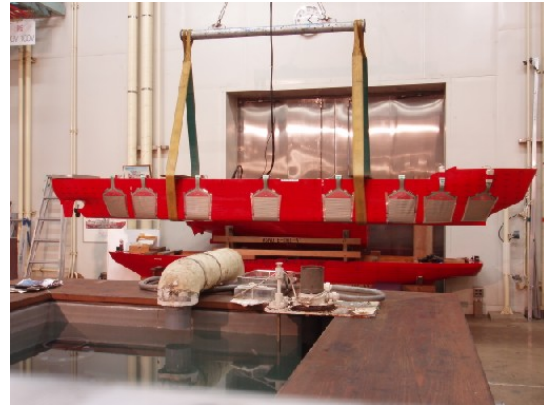


図3 圧力センサーを装備した模型船

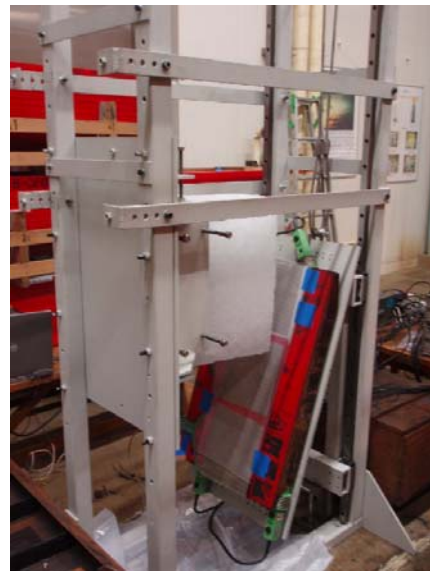


図4 氷クラッシング試験装置

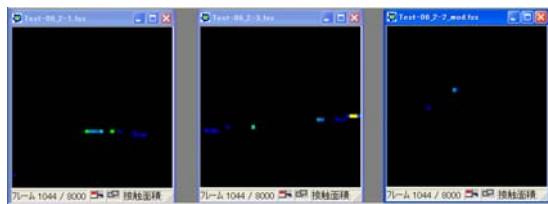
4. 研究成果

(1) 船首部荷重

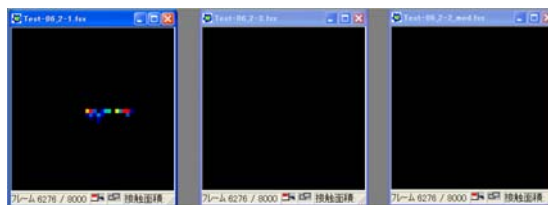
中規模スケール実験において圧力センサーシートにより得られた荷重分布を分析した結果、これらは2種類に分類できることが示された。図5にこれらの代表的な荷重分布を示す(図の左側が船首端方向)。これらの図の実験の場合、各センサーの中央部及びセンサーの間にフレームが位置する。荷重の第一のタイプは荷重が幅の広い領域に細い線

状に分布するタイプの荷重であり、この荷重分布は模型船の前進に伴って後方へそして下方へ移動する（図5(1)）。第二のタイプでは、荷重は前者と比べると非常に短い領域にのみ分布する（図5(2)）。この荷重も模型船の前進に伴って後方・下方へと移動する。

これらの両タイプの荷重について、これらによりフレームに発生する剪断歪（フレーム上下に取り付けた剪断歪ゲージの計測量の差）を解析した結果が図6である。図には、長い分布を有する荷重と短い荷重による最大剪断歪の比較を示しているが、後者の荷重の方が前者に比べて大きな歪を発生させることが分かる。



(1) 長く伸びた領域に分布する荷重



(2) 短い領域に分布する荷重

図5 船首部に発生する2種類の荷重

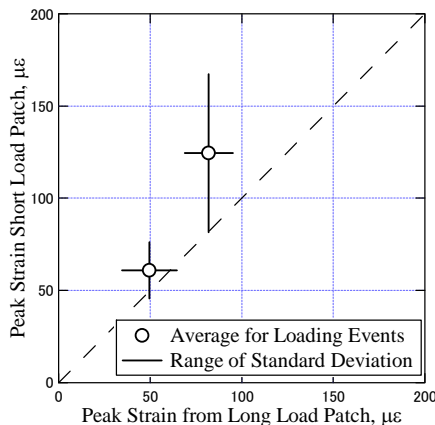
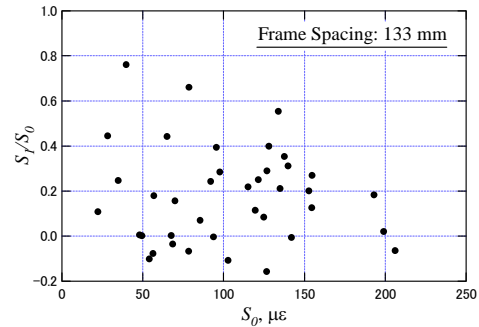


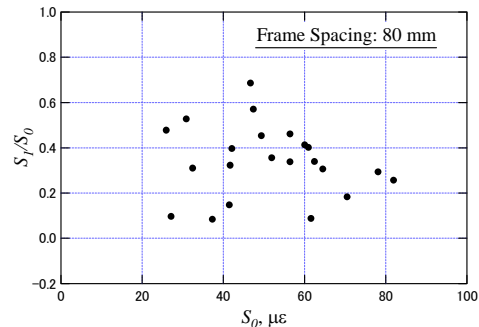
図6 2種類の荷重分布によるフレーム歪

以上の点をさらに分析するために、隣り合うフレーム間で歪量の比較を行った。具体的には、ある荷重により発生する最大歪 S_0 とそのフレームに隣り合うフレームの歪 S_1 （両側のフレーム歪の平均値）の比較を行った。解析結果が図7である。この図は、歪の比 S_1/S_0 を最大歪 S_0 の関数として示している。ばらつきが多いが、データの上側の包絡線を見ると、最大歪の増大に伴って歪の比が小さくなる

傾向が分かる。すなわち、大きなひずみが発生している状態ほど周囲のフレームの歪は低い、荷重の面から言うと、大荷重ほど集中性が高い、とすることができる。



(1) フレーム間隔が133mmの場合



(2) フレーム間隔が80mmの場合

図7 フレーム剪断歪の解析結果

上に述べた荷重の強度と集中性との関係を説明する一つの可能性として、図8に示すモデルを示す。船首部において氷板は曲げにより破壊され、この反力として船体氷荷重が発生する。氷板を破壊するために要する全体荷重は、氷の厚さ・強度・船速等に依存するが、荷重分布には大きくは影響されない。これに対して船体氷荷重の観点からは、連続分布（あるいは多数の荷重の集合）から船体の1フレームの受ける歪は比較的低い、限られた数の領域に集中する荷重による歪は大きくなる。

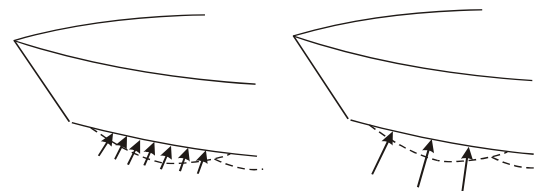


図8 荷重分布と荷重強度に関するモデル
(2) 船体中央部荷重

圧力センサーシートを用いた氷荷重計測のための模型実験結果より、船体中央部における氷荷重の挙動は船首部におけるものと大きく異なることが示された。図9は模型実験により得られた船体周りの荷重分布の計測例である。図では、横軸右側を船首、左側を船尾として、それぞれの位置のセンサーにより計測された氷荷重が示されている。直進

状態の場合は、荷重は船首部（右側3枚のセンサーシート）に卓越し、それ以降の船体中央部及び船尾部の荷重は船首部に比べて大きく低減している。これに対して旋回状態では、船体中央部後縁部のセンサー（左から3枚目のセンサー）に船首部前半部の荷重値とほぼ同程度の大荷重が発生している。

このような荷重の発生機構は、図10のように説明できよう。すなわち、

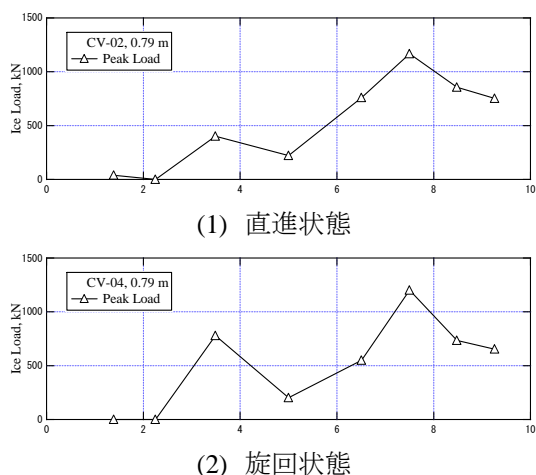


図9 船体周りの荷重分布

このような荷重の発生機構は、図10のように説明できよう。平坦水中では船体中央部は船首において形成されたチャンネル内を進む。チャンネル幅は船体幅よりもやや広いため、直進状態においては船体中央部とチャンネル縁との接触の機会が稀である。これに対し旋回状態では、推進器による横力のために船体中央部後縁がチャンネル縁に押し付けられ、これにより荷重が発生する。

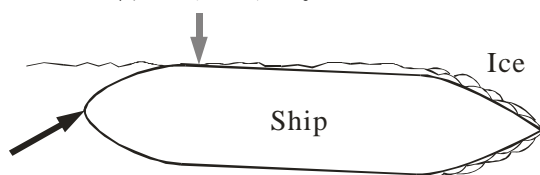


図10 船体中央部への荷重発生機構

模型実験において観察された船体中央部への氷荷重についてさらに検討するために氷クラッシング試験機による中規模スケール実験を行った。しかし、残念ながらこの実験については実験手法の都合上、船首部に対する中規模スケール実験より高強度の氷を使用せざるを得なかったため、定量的な評価はできないが、定性的な考察を示す。

図11は、船体中央部への中規模スケール実験時に得られた荷重分布の例である。この実験では図の上下方向が氷厚であり、荷重は左から右へと移動する。氷荷重は氷板面と直角にほぼ全氷厚にわたって分布している。一方、その横方向の幅は氷厚の1/10内外と狭い。

この横方向の幅の狭さは、船体構造の観点から重要である。すなわち、氷海船舶では氷荷重に対応するために縦フレーム構造を有するものが多い。これは荷重をフレームで受け持つことによりプレートを支えるという発想によるものであるが、今回の実験で得られたような幅の狭い荷重に対しては、フレームによる荷重分担効果が十分には期待できず、荷重強度によってはプレートに凹損等が発生させる可能性がある。

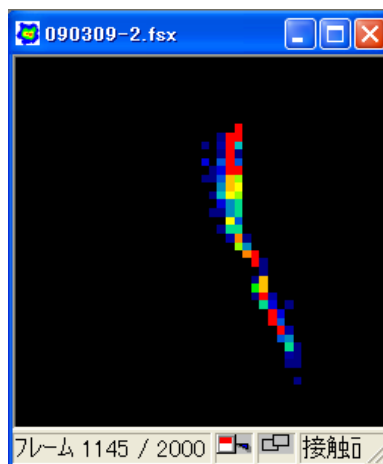


図11 船体平行部への荷重分布

(3) 研究結果に対する考察

本研究において得られた船首部・船体中央部に対する氷荷重の研究結果について、氷海船舶の船体構造設計における氷荷重の取扱いとの比較から考察を加える。

氷海船舶の船首部の設計では、一般に、一定の幅を有して水平方向に延びた領域に分布する氷荷重モデルが用いられる。しかしながら、本研究の結果は荷重がもっと狭い領域に集中し、さらには設計対象とすべき高荷重ほど荷重の集中度が増すことを示唆している。一方、設計氷荷重の船体周りの分布は、船首部で最も高く船体中央部・船尾部と低下するように与えられることが一般的である。これに対して本研究の結果は、船体中央部においても高荷重が発生する可能性があることと、さらにはこのような荷重が船体のプレートに対してより大きな影響を与える可能性を示唆するものとなった。

以上のような点は、今後さらに増加するであろう氷海船舶の安全性の確保のために、検討されるべきものと考えられる。

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)

[学会発表] (計4件)

Shimoda, H., Kanada, S., Wako, D., Takimoto, T. and Izumiya, K., 2008. Medium-scale Test of Ice Loading on

Ship Hulls— Test Outline and Preliminary Results – Proc. of the 23rd International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice.

瀧本忠教、金田成雄、下田春人、若生大輔、泉山耕. 2008 年. 中規模スケール実験による船体氷荷重の計測について. 平成 20 年日本船舶海洋工学会春季講演会講演集.

Izumiyama, K., Kanada, S., Shimoda, H., Wako, D. and Takimoto, T., 2009. Results of Medium-scale Test for Ice Loading on Ship Hulls. Proc. of the 24th International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice.

若生大輔、下田春人、松澤孝俊、泉山耕、瀧本忠教、金田成雄. 船体氷荷重について. (第 25 回寒地技術シンポジウムに投稿中)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

特に無し。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

泉山 耕 (IZUMIYAMA KOH)

独立行政法人 海上技術安全研究所・流体部門・グループ長

研究者番号：40358403

(2) 研究分担者

下田 春人 (SHIMODA HARUHITO)

独立行政法人 海上技術安全研究所・流体部門・主任研究員

研究者番号：30505102

若生 大輔 (WAKO DAISUKE)

独立行政法人 海上技術安全研究所・流体部門・研究員

研究者番号：40505103

金田 茂雄 (KANADA SHIGEO)

独立行政法人 海上技術安全研究所・流体部門・主任研究員

研究者番号：20505101

瀧本 忠教 (TAKIMOTO TADANORI)

独立行政法人 海上技術安全研究所・流体部門・主任研究員

研究者番号：20466238

(3) 連携研究者

無し