模型実験による氷荷重の船体周り分布の計測

海洋開発研究領域 * 若生 大輔、泉山 耕、宇都 正太郎、金田 成雄、下田 春人

1.はじめに

サハリン大陸棚における海底資源の本格的開発 が始められようとしている。衆知のように、この 海域を含むオホーツク海は、冬季には海氷に覆わ れる氷海域である。このため、一部鉱区ですでに 開始されている石油の商業生産も、現時点では無 氷期に限定されている。しかしながら開発の本格 化に伴い、通年体制での生産が開始されようとし ている。このようなサハリン大陸棚開発の本格化 に伴い、冬季オホーツク海の氷海域における海上 交通の急激な増加が予想される。

氷海域を航行する船舶には通常海域を対象とする船舶に対するものとは大きく異なる要求が課せられる。このため、北極海・バルト海といった氷海域では、船舶の航行の安全性を担保するために、それぞれの海域の氷況・船舶・航行形態等に応じた独自の航行ルールが制定されてきた。しかしながらオホーツク海についてはこのような基準・規則は存在しない。当所では、冬季オホーツク海での海上交通の安全を担保する基盤的技術の研究のために、指定研究「オホーツク海氷中航行規則に向けての基盤的研究」を昨年度より開始した。

氷中船舶の安全を担保する最も基本的要件は船 体構造である。氷中船舶には海氷との接触による 「氷荷重」が発生し、これに耐え得る船体構造が 要求される。しかしながら、氷荷重の挙動につい ては未解明な部分が多い。特に船体周りの氷荷重 の分布は、Area Factor といった形で砕・耐氷構 造ルールに取り入れられてはいるものの、その合 理的な解釈が為されるまでには至っていない。

上記指定研究では、その一環として氷海水槽に おける模型実験により船体氷荷重の挙動、特にそ の船体周りの分布についての知見を得ることを計 画している。本報告では、昨年度に実施した水槽 試験結果について報告する。

2.実験

模型船

本研究では、実船として総トン数 1000 トン型 の砕氷巡視船を想定したものを使用した。縮尺 比1:16 の模型船は前後2分割とし、船尾模型は 通常型推進器とPOD 型推進器の2種類の推進器 に対応する船尾がそれぞれ制作された。本研究 では POD 型推進器を搭載可能な船尾を使用し た。供使模型船の主要目を表1に示す。

圧力センサーシート

本研究で使用した圧力計測システムは、Tekscan 社製の I-SCAN である。船体に貼り付けたセンサー シートは、厚さ 0.3 mm のフレキシブルなシートで あり、210 mm 四方の感圧面内に 4 4 行 4 4 列に感 圧スポットが配置されている。

試験手法

試験は模型船を拘束せずに航走させる自由航走 試験とした。模型船には補助台車が追随しデータ の記録、電源供給を行った。補助台車の速度をレ ーザ速度計、模型船と補助台車の相対位置をビデ オ撮影にて計測した。この二つのデータより模型 船の速度および航跡を計算した。この他に計測し たデータは、プロペラ回転数、スラスト、トルク、 POD にかかる力、角度、船首角などである。そし てシート状の圧力センサーシートを船体の8カ所 に貼り、氷から受ける荷重分布を計測した。試験 では船首部左右両舷の S.S. No. 9 から No. 2 近傍 にかけて、喫水線及びその下部を覆うように圧力 センサーシートを貼り付け、氷荷重の計測を行っ た。模型の船体前半部のセンサーシートを貼り付 けた状況を図1に、船体後半部のセンサーを貼り 付けた状況を図2に示す。図1,2は、センサー シートを全て右舷側に貼り付けた状態である。図 3に実験時の様子を示す。

試験は以下の手順で行った。

- ・ 氷盤の機械的特性を計測
- ・ 氷盤に模型船の導入路を切り出す。導入
 路は、直進試験は水槽の長手方向に、旋回試験は旋回径をなるべく多く取るために、長手方向から角度を付けて切り出す。
- 模型船を導入路に固定した後、プロペラ を回転させる。
- プロペラが所定の回転に達したあと模型 船を解放し航走をスタートさせ、合図と 共に、データ計測を開始する。
- 直進試験は、所定距離を航走した後にプロペラを停止させ模型船を停止させる。
- ・ 旋回試験は、斜めに航走をスタートさせ 模型船の速度が一定なった所で合図と共 に POD を所定の角度まで旋回させる。
- ・ 模型船が旋回を始め、そのまま旋回を続 け水槽端へ近づいたところで、プロペラ を停止させ模型船を停止させる。
- 直進試験、旋回試験共に模型船停止後、
 航跡を計測する。

実験条件

実験条件を表2に示す。本論文では氷厚31mm の実験について報告する。また、ポッド角は-が左旋回、+が右旋回となる方向にポッドを回 転させた。実験番号3147は、S字旋回試験とし 左旋回の後、右旋回を行った。



図1 模型船船首部と圧力センサーシート



図2 模型船船尾部と圧力センサーシート



図3 実験風景

表 1 模型船主要目

垂線間長	4.688	m
型幅	0.875	m
計画喫水	0.250	m
排水量	0.527	m ³

表 2 実験条件

実験番号	氷 厚	回転数	ポッド角
	mm	rps	deg.
3142	31.1	6.6	0.0
3143	30.6	7.5	0.0
3144	31.4	7.5	0.0
3145	31.0	8.8	0.0
3146	31.7	7.5	- 20.0
3147	30.7	7.5	± 30.0
3148	50.3	10.0	0.0
3149	52.2	13.0	0.0
3150	30.9	9.5	0.0
3151	31.4	9.5	30.0

3.計測結果および考察

模型船の運動

模型船の航跡は、計測と計算からの両方から求 めた。計測はチャネルの東西端の位置をそれぞれ 計測しそこから船体中央の位置を計算した。また 補助台車が模型船に追随したがその際に模型船内 部から補助台車の下部に設置したスケールをビデ オで撮影し模型船と補助台車の相対位置を計算し た。補助台車の速度も計測しているので、この二 つのデータより模型船の航跡を求めることが出来 る。図4に計測と計算より求めた航跡の一例を示 す。グラフより両者は非常に良く一致することが 分かる。



図4 航跡例(計測・計算)

ここで得られた航跡と、模型船の速度より旋回 径を計算した。図5に各舵角での旋回径を、船 長で割ったものを示す。同図には2002年に行っ た同じ模型船を使用した旋回試験の結果と、海 上保安庁の砕氷巡視船「そうや」と「てしお」 のオホーツク海で行った実船実験時のデータを あわせて載せている[1]。グラフより「てしお」 は、船長の10~15倍の旋回径となった。「そう や」は、平坦氷中は15~20倍、流氷中で10~ 15倍の旋回径となった。一方、今回の試験と 2002年に行った試験では、3~5倍となった。同 図から「そうや」と比較して「てしお」の方が、 氷中での操縦性能が優れていることが分かる。 一方、ポッド型推進器を搭載した模型船は「そ うや」、「てしお」よりもさらに小さな旋回径で 旋回できることが分かる。これはポッド型推進 器が氷中での操縦性の向上に有効であることを 示したものと考えられる。



船体氷荷重全般

各センサーシートは 44×44 列で約 2000 点の感 圧点を持つが、本研究では各シートの感圧点の計 測値の合計(RawSUM)を計算し、各センサーシート の計測値とした。直進試験の場合、船体がすべて 氷盤中に進入した時点からプロペラを停止する直 前までをデータ計測区間とした。旋回試験は旋回 角速度が一定の区間をデータ計測区間とした。

図6,7にセンサーシートにかかる荷重の時系 列データを示す。図6は船首部(SSNo 8.5)、図7 は平行部(SSNo 4.5)にかかる各荷重を示す。グラ フより船首部では比較的小さい荷重が多くかか り、平行部では発生頻度は低いが大きい荷重がか かることが分かる。船首部での砕氷現象は曲げ破 壊となるが、船体平行部では割れた氷盤のエッジ に船体が押しつけられての圧縮破壊となる。平行 部での大きな荷重は、圧縮破壊によって発生した 荷重と考えられる。これは、船体が左右に横揺れ したときに氷盤に押しつけられ、大きな荷重が発 生したものと考えられる。このような荷重の特徴 は、以前の試験においても観測されている[2]。



図6 直進航行時の船首部での荷重



図7 直進航行時の平行部での荷重

直進時氷荷重

直進時の氷荷重分布結果を図8から図11に示 す。図8はRawSumの平均の船体周りの分布を示し たものである。図中の はプロペラ回転数が6.5 回転、 は7.5回転、 が9.5回転の結果である。 氷厚は同一であるので、回転数が速いほど模型船 の速度は速くなる。直進航行時に氷盤から受ける 氷荷重は、船速が速いほど大きくなることが分か る。氷中を直進航行する際の氷荷重は、船首部か ら平行部直前(ショルダー部)に卓越し、船体中央 から船尾にかけて減少していくことが分かる。こ れは前述のように、砕氷現象が主に船首で起こり、 船体中央から船尾にかけては割れた氷と擦れるこ とによる荷重だと考えられる。

一方、船体構造の安全性という観点からは、 氷ピーク荷重値が問題となろう。ピーク荷重の 定義には様々な方法があろうが、ここでは Raw Sum の確率分布関数からピーク荷重を計算し た。図6,7に示した Raw Sum データの確率分 布関数を図9に示す。ここではこのような確率 分布関数の非超過確率 90%及び 99%に相当する Raw Sum 値をもってピーク荷重を評価した。図 10,11をみると平均値と同様に船首部からシ ョルダー部までが高く、船体後半になるにつれ小 さくなることが分かる。しかしながら、平均荷重 と比較すると、ピーク荷重では船体後半部にもあ る程度の荷重が発生していることがうかがえる。



図8 氷荷重分布 平均値





図10 氷荷重分布最大値 (0.90)



図11 氷荷重分布最大値 (0.99)

旋回時氷荷重

旋回航行時の氷荷重結果については、実験番号 03147 と 03144 の比較の上で考察する。03147 は一 回の実験で左右両方に旋回したもので、03144 は 同じ条件での直進航行試験である。計測結果を図 12、13,14に示す。図12は直進航行試験 と左右に 30 度で旋回した時の右舷にかかる RawSumの平均の船体周り分布を示している。同図 から旋回航行時に船体にかかる氷荷重は、船首部 からショルダー部までは、直進航行時は荷重が大 きいが、これは同じプロペラ回転数の場合、旋回 時に船速が低下するためと考えられる。

一方、船体平行部から船尾にかけては、荷重の

値が旋回の内側と外側で大きく異なることが分か る。旋回の内側では、直進試験と同様に平行部か ら後ろは荷重が減少するが、この低下量は直進時 より大きい。これは船尾の内側が、船首で割った 水開き部分を通るために荷重がかからなかったと 考えられる。一方、旋回の外側では、船体平行部 から船尾にかけても大きな荷重がかかることが分 かる。これは、旋回時には、POD が船尾を旋回外 側に押す方向に推力を向け、その結果として船尾 は外側の氷に押しつけられることにより、船尾付 近にも大きな荷重がかかるためと考えられる。

図13,14は、非超過確率90%及び99%の氷 ピーク荷重値を示したものである。ピークの図も 平均と同様の傾向があるが、差はより大きくなっ ている。99%では、特に平行部から後ろでの差が大 きくなる。



図12 氷荷重分布平均値(直進、左右)



図13 氷荷重分布最大値 (0.90)





4.おわりに

本論文では、船舶による砕氷現象について、圧 カセンサーシステムを用いた水槽実験結果を報告 した。自由航走する模型船にかかる氷荷重を船体 全体にわたり圧力センサーシートを貼り付け直進 航行、旋回航行時に船体にかかる氷荷重を計測し た。直進航行時に船体にかかる氷荷重は、船首が 最も大きく、船尾に近づくにしたがい小さくなる ことが分かった。旋回試験では、旋回の内側は直 進航行時の氷荷重と同様の結果となり船尾ではほ とんど荷重を受けないことが分かった。旋回外側 では船尾付近まで大きな荷重を受けることが分か った。これは、船尾を外側に押し出すようにして 旋回するために船尾の外側が氷盤に押しつけら れ、結果として大きな荷重を受けるためと考えら れる。

以上、氷海水槽における模型試験による船体氷 荷重の計測結果について報告した。今回の試験で は、様々な情報が得られたが、特に直進時と旋回 時の荷重の挙動の違いは興味深い。今回の試験で は POD 型推進器という旋回能力の高い推進器を用 いたために、特にこのような違いが強調されるも のとなったことはあろうが、旋回時における船尾 での高い氷荷重の発生は、砕・耐構造のあり方を 考える上で、重要な結果と考える。

今回の報告は一次解析結果であり、今後さらに 解析を続けるとともに、他の船型、条件について も試験を行う計画である。

5.参考文献

[1] 若生他「全方位型推進器を搭載した砕氷型巡 視船に関する研究 その2 氷中性能
寒地技術シンポジウム(平成14年)
[2]Koh Izumiyama. "ICE PRESSURE ACTING OVER A
MODEL SHIP HULL", Proceedings of 16th
POAC (2001)