

模型実験による氷荷重の船体周り分布の計測

(その2)

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、瀧本 忠教

1.はじめに

オホーツク海は、冬季には海水に覆われる氷海域である。今後、サハリンの資源開発にともな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航行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。水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。水中船舶には氷との接触による「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、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十分に為されているとは言い難い。

著者らは、昨年の本講演会において、模型実験による船体氷荷重の分布の計測結果について報告した。この実験に引き続き、同様の模型実験を実施したので、ここにその結果を報告する。

2.実験

今回の実験も、基本的には昨年度に報告した実験と同様のものである。従って、ここでは前回と同じ点については割愛するか要点を述べるにとどめ、本年度に新たに行った点を中心に説明する。昨年との重複となる点については、昨年の報告を参照されたい。[1]

①模型船

昨年度の実験では、砕氷型巡視船の模型を用いた実験を行ったが、本年度は、これに加えて、氷中可航型の商船の模型に対しても実験を実施した。砕氷巡視船模型は縮尺比 1:16 でPOD型推進器

搭載模型である。商船模型は縮尺比 1:36 で長い平行部を持つ一軸一舵の船型である。両船の計画喫水における水線形状を図1に示す。また供使模型船の主要目を表1に示す。なお、図1の破線は、Finish-Swedish Ice Class Rulesの規定に定められる船首・中央部・船尾の境界線である。

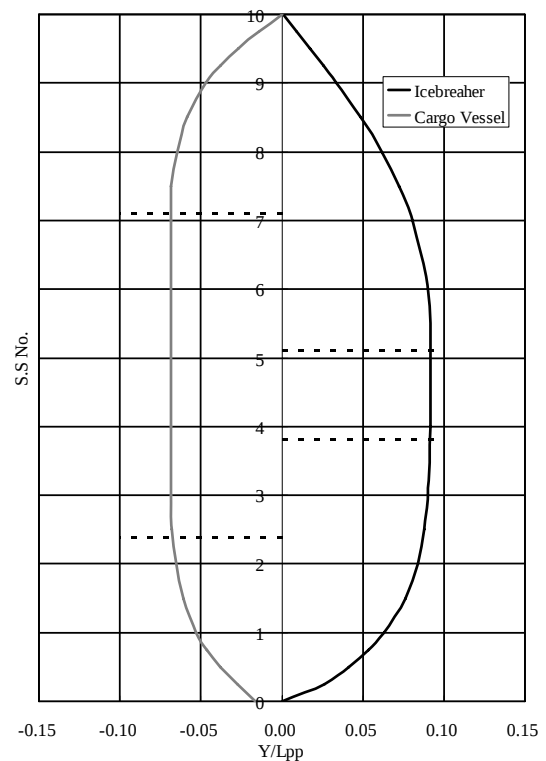


図1 水線形状の比較

②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、前回も使用したシステムで 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。

③試験手法

試験は旋回試験を除き、昨年度実施した試験と同一の手法で実施した。詳しい試験手法については昨年の報告を参照されたい。

本年度は水中可航型の商船を用いた試験を新たに行ったが、旋回試験の手法は、砕氷巡視船と商船の場合で若干異なる。砕氷巡視船は、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た。商船模型は、舵が固定式のため、POD のように航走開始後に旋回させることが出来ない。そのため、航走前に所定の舵角に設定しておき、速度が一定になるまで、模型船を保持し船首方位角を一定に保つ。合図と共に、模型船をリリースした。

④実験条件

実験条件を表 2 に示す。実験番号 04033-04036 は砕氷巡視船模型、04037-04043 は商船模型を使用した。また、ポッド角および舵角は－が左旋回、＋が右旋回となる方向にポッドおよび舵を回転させた。実験番号 04034、04036 は、S 字旋回試験とし左右に旋回を行った。

表 1 模型船主要目

模型船	砕氷巡視船	商船
垂線間長	4.688 m	4.861
型幅	0.875 m	0.667
計画喫水	0.250 m	0.222
排水量	0.527 m ³	0.536

表 2 実験条件

実験番号	氷 厚 mm	回 転 数 rps	ポッド角 deg.
04033	50	12.0	0
04034	31	7.5	±30
04035	50	12.0	20
04036	50	12.0	±30
04037	41	18.01	0
04038	27	14.03	0
04039	27	14.02	30
04040	27	14.00	20
04043	27	14.00	-30

3.計測結果および考察

①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。詳細手法については、昨年の報告を参照されたい。

図 2 に計測と計算より求めた航跡の一例を示す。これは実験番号 04034 砕氷巡視船模型の S 字旋回試験時のグラフである。このグラフより計測と計算から得られた結果は、非常に良く一致することが分かる。

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 3 に各舵角での旋回径を、船長で割ったものを示す。同図は昨年の報告で示したものに、今回の結果を加えたものである。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、平坦水中は 15～20 倍、流氷中で 10～15 倍の旋回径となった。砕氷型巡視船模型は 3～5 倍で、昨年度の結果と良く一致する。商船模型は船長の 20～25 倍の旋回径となった。商船模型は砕氷型巡視船よりも水中での旋回性能が大きく劣ることが分かった。

同図から、旋回径は POD 型推進器を搭載した模型船、「てしお」、「そうや」、水中可航型商船模型の順に大きくなるのが分かる。この結果は、水中での操縦性能は、船体の平行部は短い方が、一軸一舵よりは二軸二舵が、通常のプロペラ・舵システムよりは POD 型推進器の方が優れているという一般的な理解を裏付ける結果となったと言うことができよう。

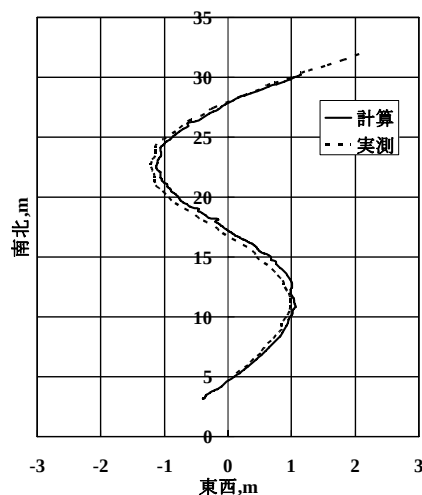


図 2 航跡例（計測・計算）

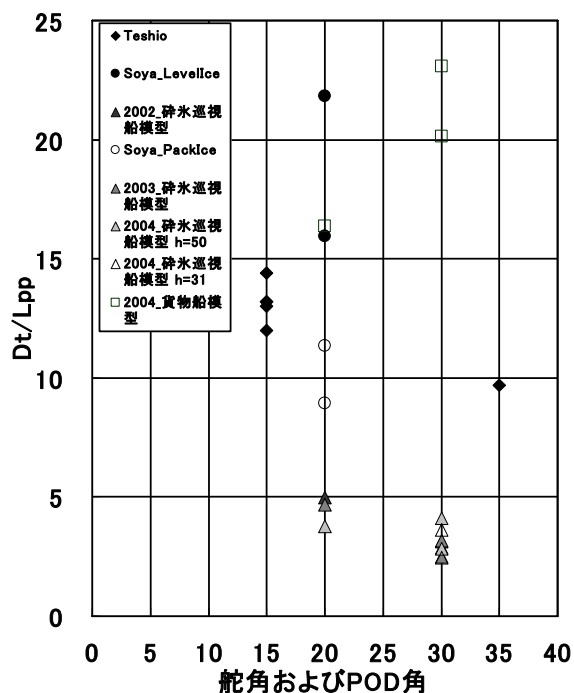


図3 旋回径の比較

②直進時氷荷重

図4、図5に砕氷巡視船模型の直進航行時のセンサーシートにかかる荷重の時系列データを示す。ここに、両図に示した値は、Raw Sumである。これは、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を計算し、各センサーシートの計測値としたものである。図4は船首部(SSNo 8.5)、図5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ピークは低いが高頻度の高い荷重がかかり、平行部では発生頻度は低いが大きな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が発生する場合がある。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、昨年度の試験においても観測されている。商船模型についても基本的に同様の結果が得られている。

直進時の氷荷重分布結果を図6に示す。図6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◆は砕氷巡視船模型、■は商船模型、の結果である。これらの結果は、縮尺の異なる模型についての実験結果であり、氷厚と速度は共に異なるために両者のRaw Sumの絶対値の比較はここでは意味が無い。以下、船体周りの分布の相対的な形状について議論する。砕氷型巡視船模型が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。また、図4及び図5に見られるように、平行部以後では、氷荷重の発生頻度が下がり、これが平均値で見た場合の値を下げていることもこの理由であろう。

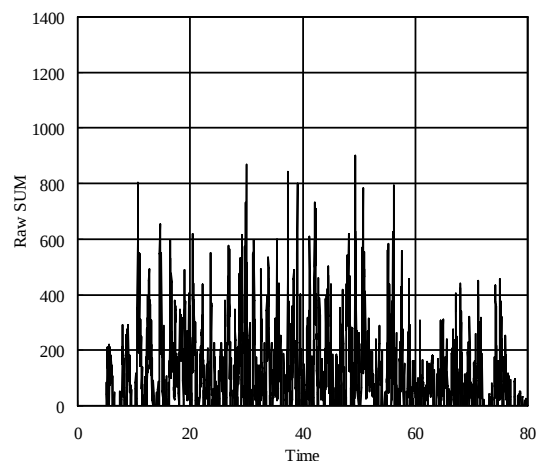


図4 直進航行時の船首部での荷重

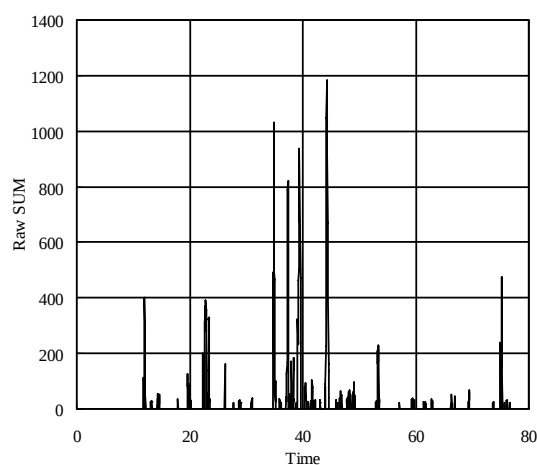


図5 直進航行時の平行部での荷重

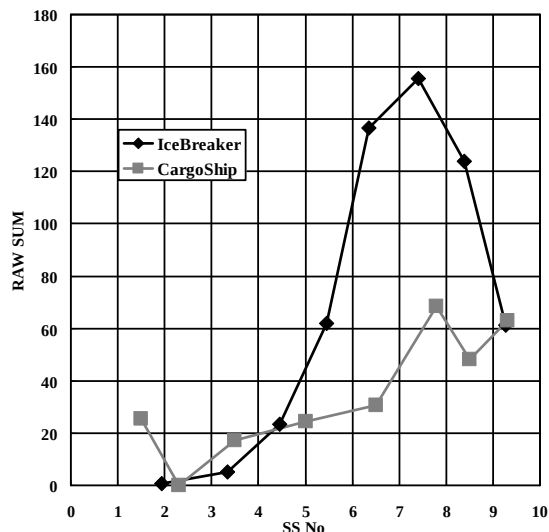


図6 氷荷重分布 平均値

③旋回時氷荷重

旋回航行時の氷荷重結果については、砕氷巡視船については、実験番号 04033 と 04036 の比較の上で考察する。04036 は一回の実験で左右両方向に旋回したもので、04033 は同じ条件での直進航行試験である。商船については、実験番号 04038、04039、04043 の比較の上で考察する。04039、04043 は左右に旋回したもので、04038 は同じ条件での直進航行試験である。

砕氷巡視船模型の計測結果を図7、図8、図9に示す。図7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、直進航行時と旋回航行時では有意な差が見られない。

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8図9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。以上のような結果は、基本的には前回の実験においても見られたものである。しかしながら、今回の実験では、旋回の内側において、船体中央部に大きな荷重が発生していることは注目すべきである。

商船模型の計測結果を図10、図11、図12に示す。センサーシートは全て右舷側に貼っている。図10は直進航行試験と左右に30度の旋回時に右舷にかかるRawSumの平均の船体周分布を示している。ショルダー部までは、砕氷船の場合同様、直進、旋回の内側外側共に荷重に変化は見られない。ショルダー部においては、直進、旋回内側に大きな荷重が掛かっていることが分かる。旋回外側には大きな荷重は見られない。ショルダー部から船尾に掛けては、緩やかに荷重が減っていくことがわかる。

旋回試験では、平行部に入っすぐでは、旋回の外側、内側共に荷重が低くなる。しかしながら砕氷船の場合と同様に、船体平行部の中心付近では、旋回の内側で氷からの荷重がピークを迎えている。これに比べ旋回外側の荷重は、船体中央部では小さく、その後部の平行部が終わる直前では、荷重の大きなピークが来る。並行部の後ろでは、旋回の内側には荷重がほとんど掛からない。図11図12には非超過確率90%および99%の氷からのピーク荷重値を示したものである。これは砕氷船と同様の傾向を示す。

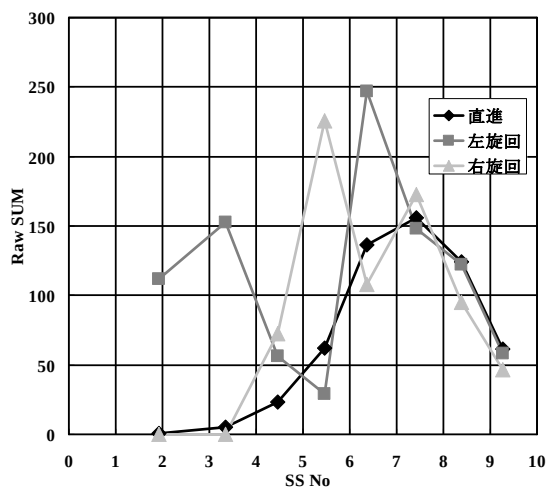


図 7 氷荷重分布平均値 (直進、左右)

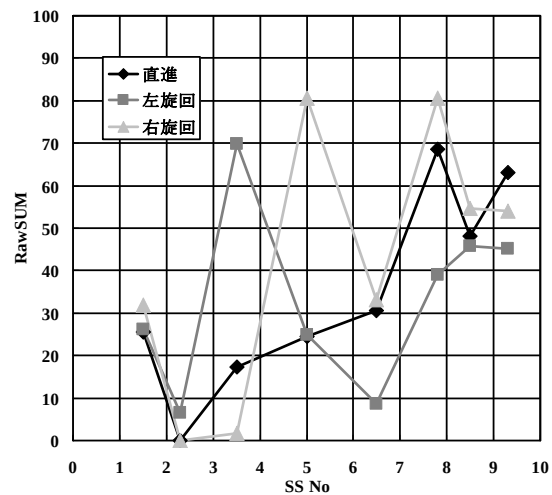


図 1 0 氷荷重分布平均値 (直進、左右)

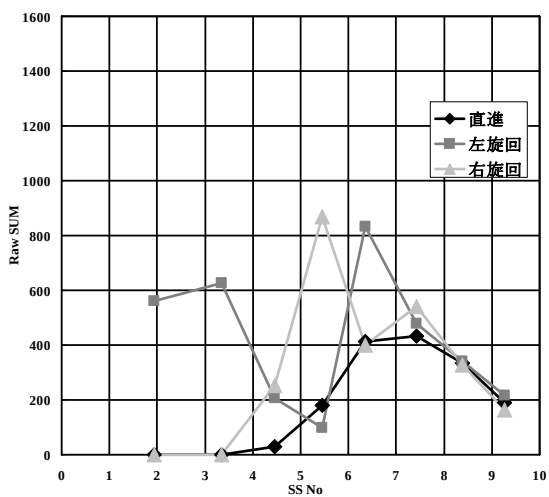


図 8 氷荷重分布最大値 (0.90)

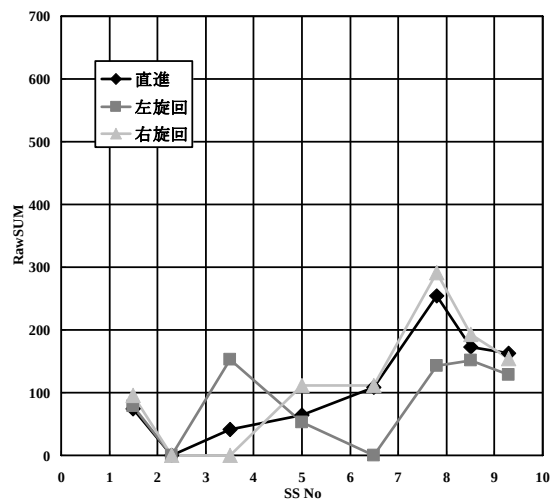


図 1 1 氷荷重分布最大値 (0.90)

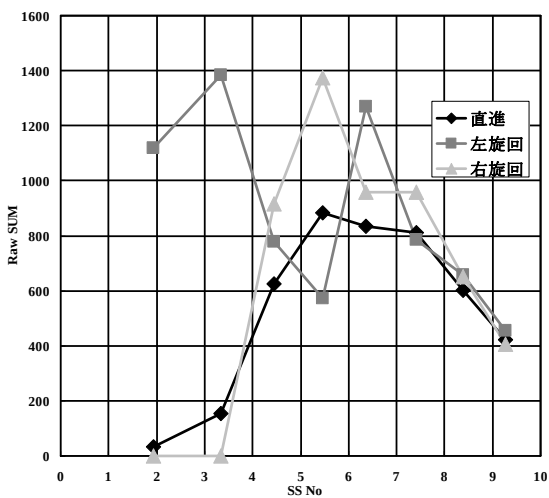


図 9 氷荷重分布最大値 (0.99)

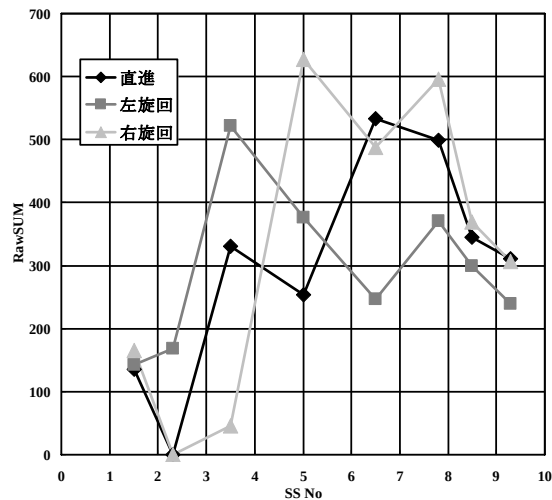


図 1 2 氷荷重分布最大値 (0.99)

4.まとめ

本報告では、昨年度に引き続き船舶による砕氷現象について、圧力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、船首からショルダー部までが最も大きく、船尾に近づくにしたがい小さくなることが分かった。これは、砕氷型巡視船も商船模型も同様の傾向を示す。一方、旋回試験では、船首部については旋回の内側・外側ともに直進航行時の氷荷重と同様の結果となり、船尾では内側はほとんど荷重を受けないのに対し、外側では大きな荷重を受けた。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。

上記のような砕氷船の試験結果は、前回の試験結果と基本的には同様の結果である。前回の試験においては、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と考えられた。しかし今回の試験において、旋回性能の低い商船模型の計測でも、同様の結果が得られたということは、氷中

を航行する船舶全般についても、旋回時に船尾において高い氷荷重が発生すると言えらるよう。今回の結果は砕・耐構造のあり方を考える上で、重要な結果と考える。

この一方、今回の実験では、砕氷船と商船ともに、平行部の前部においては、旋回の内側でも大きな荷重を受けることが分かった。このような荷重は前回の試験では見られていない。この点については、砕氷船については、前回の試験と氷厚の違い条件における試験であることがその理由かもしれない。氷厚の違いは船首部における砕氷パターンの違いを生み、これが平行部における氷と船体との接触パターンの違いにつながった可能性がある。しかしながら、このような旋回中の船体中央部における高い荷重は商船模型においても計測されている。これがどのようなメカニズムでもたらされたかについては、現時点では不明である。今後氷荷重の挙動の詳細解析を含めて、この点について研究を続けて行きたい。

5.参考文献

- [1] 模型実験による氷荷重の船体周り分布の計測
その 1
海上技術安全研究所研究発表会(平成 16 年)