巡視船「そうや」実船実験による氷荷重計測（その１）

海洋開発研究領域　　＊瀧本　忠教、宇都　正太郎、泉山　耕
金田　成雄、下田　春人、若生　大輔
先進的構造研究ＰＴ　　岡　修二
環境・エネルギー研究領域　　村上　睦尚

１．はじめに

サハリン沖の大陸棚における石油・天然ガスの開発が活発化している。現在は無氷季に限り生産が行われているが、2005 年度中にも通年生産に移行の予定である。これに伴い、タンカー等の様々な船種の船舶がオホーツク海を航行し、流氷季オホーツク海の海上交通が急増することが考えられる。北海道オホーツク海沿岸の自治体ではタンカー事故等による油汚染に対する懸念が高まっている。従って、今後当該海域において氷海航行能力を有する巡視船の重要性が増すことが考えられる。

オホーツク海流氷域での運用に最適な巡視船を設計するためには、海氷の特性の把握とともに、既存の巡視船による実船計測を行うことにより、性能データを取得、解析することが必要不可欠である。特に砕氷及び耐氷巡視船の構造設計を合理的に行うためには、船体が受ける氷荷重を正確に推定することが必要となる。

しかし、オホーツク海における巡視船の氷荷重に関する構造応答の計測はほとんどなく、当所が平成 9、10 年度に実施した巡視船「てしお」での計測結果が公表されている程度である[1)]。当該海域における氷荷重のレベルを把握し、構造設計に反映させるためには、「てしお」と比べ、氷海航行能力、船型等が異なる「そうや」で構造応答に関する実船計測を行うことが必要不可欠である。

そこで、海上保安庁装備技術部船舶課との共同研究として、2005 年 2 月に巡視船「そうや」における構造部材の応答を主眼とした計測を実施した。本稿では、その一次解析結果を報告する。

２．実船実験

２．１　供試船

実験に供した巡視船「そうや」は、海上保安庁第一管区海上保安本部釧路海上保安部に所属するヘリ１機搭載型の巡視船である。「そうや」は厚さ 1.0 m の海氷を船速３ノットで連続砕氷する能力を有する。「そうや」の要目を表－１に示す。

２．２　計測項目と計測手法

２．２．１　構造応答計測

構造応答の計測は歪ゲージを利用して行った。歪ゲージは船体前半部の４区画（①～④）の計 55 箇所に設置した。各区画の歪ゲージの設置数を表－２に、各区画の位置を図－１に示す。なお歪ゲージは全て右舷側に設置した。パネルとフレームの歪ゲージの設置状況を図－２に示す。パネルには、キールラインからの高さ 4700mmにｘ方向（船首尾方向、ε_x）、ｙ方向（深さ方向、ε_y）、4400mm の高さにｘ方向（ε_x）の歪ゲージを設置した。フレームには、深さ方向の位置を変えて、１フレームにつき４枚の歪ゲージを設置した。

データは、図－１に示す３つの計測ステーションで DAT 式データレコーダを用いて収録した。

２．２．２　氷厚計測

氷荷重を評価する際の重要な基礎データとして氷厚の計測を同時に行った。計測は図－３のようにEMIセンサとレーザセンサのデータを組み合わせて行った[2)]。EMI及びレーザセンサのデータは図－１のステーション１のPCに収録した。また、計測は長手方向で③区画に相当する位置で行った。なお運用の制約上、本センサは左舷側に設置した。

２．２．３　船体運動計測

図－１のステーション１にジャイロ及び加速度計を設置し６自由度の船体運動を計測した。データはステーション１の DAT 式データレコーダに収録した。また GPS 装置により船位、船速及び船首方位角を計測し､ステーション１の PC に収録した。

２．３　解析手法

２．３．１　パネルに作用する応力の推定

パネルの歪（ε_x、ε_y）からパネルにかかる応力（σ_x、σ_y）を(1)、(2)式より計算した。但し、Eは弾性率、νはポアソン比である。

$$\sigma_x = \frac{E}{(1-\nu^2)}(\varepsilon_x + \nu\ \varepsilon_y) \qquad (1)$$

$$\sigma_y = \frac{E}{(1-\nu^2)}(\varepsilon_y + \nu\ \varepsilon_x) \qquad (2)$$

２．３．２　フレームに作用する氷荷重の推定

船体と氷との接触による氷荷重は、船の前進によって載荷点を船尾方向に移動させながら発達、減衰する過程を繰り返す。従って氷荷重は、狭い幅を持つ線状の領域に作用する。本稿では、フレームの剪断歪から、フレームを図－４のように仮定し、各フレームの上下限２カ所の剪断歪（各々の剪断応力をτ_T、τ_Bとする）の差を用いて、フレームに作用する氷荷重（F）を解析的に求めた。

３．解析結果及び考察

計測は､「そうや」が氷海域を航行する全期間にわたって行われたが、本稿では、時間が連続する（ラミングを除く）代表的な部分について解析した結果を示す。

３．１　直進状態での応力と氷荷重

直進状態において、各区画のパネルにおけるキールラインからの高さが 4700㎜での最大応力を表－３に示す。本表より最大応力は②区画で発生したことがわかる。②区画におけるσ_xの時間変化を図－５に示す。本図より最大応力は 70 秒付近で発生していることがわかる。

次に各区画の代表１フレーム（②区画：Fr. 20 1/2、③区画：Fr. 26 1/2、④区画：Fr. 41 1/2）における氷荷重の最大値（以下「最大氷荷重」という）を表－４に示す。本表より最大氷荷重は③区画で発生しているが、②区画でもかなり大きな値となっていることがわかる。②区画と③区画における氷荷重の時間変化を図－６に示す。本図より最大氷荷重はパネルの最大応力と同様 70 秒付近で発生しており、パネルとフレームで同時に最大となっていることがわかる。また、②区画で 70 秒付近に現れた氷荷重のピークは、直後に③区画にも現れている。両区画の歪ゲージ間の長手方向の距離と船速を考慮すると、これは一連の氷荷重の載荷イベントであると考えられる。

このようなパネルの応力やフレームの氷荷重は、氷厚や航走状態等によって大きく異なる。以下では、氷厚や航走状態による違いについて述べる。

３．２　氷厚による違い

直進状態における氷厚（積雪深を含む）の変化を図－７に示す。この時の氷況は比較的大きく部分的にハンモック化した氷盤で形成される流氷域であり、密接度は平均８程度であった。氷厚のピークと応力及び氷荷重のピークがほぼ同時に現れていることから、氷厚の大きいところで応力や氷荷重が大きくなる傾向にあることがわかる。但し、氷厚は空間的に変動すること及び構造応答計測位置が右舷側に対し、氷厚計測位置は左舷側であることから、各々の時間変化の対応が完全に取れるわけではないことに注意を要する。

３．３　航走状態による違い

３．３．１　右回頭状態

右回頭状態におけるパネルの最大応力を表－３に、フレームの最大氷荷重を表－４にそれぞれ示す。最大応力は③区画で発生しており、直進状態よりもかなり大きいことがわかる。最大氷荷重は③区画で発生しているが、④区画でも③区画と同程度の値となっている。歪ゲージの貼付箇所が全て右舷側であり、右回頭状態の時は、歪ゲージが全て内方にある。従って船首から船体中央部付近を氷盤に対して押しつける形になるため、回頭時の内方では船首から船体中央部付近で広範囲にわたり応力、氷荷重が大きくなると考えられる。

３．３．２　左回頭状態

左回頭状態におけるパネルの最大応力を表－３に、フレームの最大氷荷重を表－４にそれぞれ示す。最大応力、最大氷荷重とも直進状態や右回頭状態よりも全般的に小さいことがわかる。これは、歪ゲージが左回頭状態の時は全て外方にあり、船首から船体中央部付近が氷盤と離れる方向に移動するため、回頭時の外方では、船首部付近では応力、氷荷重とも小さくなると考えられる。

３．３．３　ラミング状態

ラミング状態におけるパネルの最大応力を表－３に、フレームの最大氷荷重を表－４にそれぞれ示す。この例では最大応力、最大氷荷重とも直進状態と同程度であることがわかる。

３．４　降伏応力との比較

パネルの最大応力を降伏応力と比較する。仮にパネルの降伏応力を 355［MPa]とすると、表－３より最も大きい場合でも降伏応力の約 46%である。

３．５　設計氷荷重との比較

フレームの最大氷荷重を設計氷荷重と比較する。仮に耐氷構造階級を FSICR（Finnish－Swedish Ice Class Rules）の Ice Class IA super として設計氷荷重を推定すると、約 875［kN/m]となる。表－４より、最も大きい場合でも設計氷荷重の約 38%である。

４．おわりに

巡視船「そうや」による実船実験において、氷荷重の計測を行った。代表的な部分についてデータ解析を行い、良好なデータが取得できたことを確認した。今後さらなる解析を行う予定である。本稿の主な結論を以下に示す。

1)回頭時の内方では船首から船体中央部付近の広範囲にわたり応力、氷荷重が大きく、外方では船首部付近でも小さい。

2)パネルの最大応力、フレームの最大氷荷重はともに右回頭状態の③区画で発生し、最大応力は 165[MPa]、最大氷荷重は 336[kN/m]であった。

3)FSICR の IA super と仮定して設計氷荷重を推定し、最大氷荷重と比較したところ、最大でも設計氷荷重の約 38%であった。

謝辞

本研究は、海上保安庁装備技術部船舶課との共同研究として実施された。また、実船実験の実施にあたっては第一管区海上保安本部、巡視船「そうや」及び北海道大学低温科学研究所に多大なご協力をいただいた。関係各位に心より感謝したい。

参考文献

1) 宇都正太郎他：砕氷巡視船「てしお」に作用する氷荷重について 第 19 回寒地技術シンポジウム（2003）

2) 宇都正太郎他：Modeling Internal Structure of Sea Ice in the South Sea of Okhotsk for Observing Thickness of Deformed Ice using a Ship-borne Electro-magnetic Inductive Sensor 第 20 回北方圏国際シンポジウム(2005)

表－１　巡視船「そうや」の要目

全長	98.6［m]
最大幅	15.6［m]
深さ	8.0［m]
総トン数	3100［t]

表－２　歪ゲージの設置数

区画	歪ゲージ数［枚]	内訳	
		パネル	フレーム
①	6	6	0
②	11	3	8
③	15	3	12
④	23	3	20
合計	55	15	40

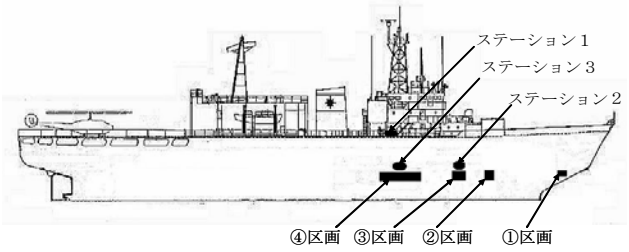
表－３　パネルの最大応力

	①［MPa]		②［MPa]		③［MPa]		④［MPa]	
	σ_x	σ_y	σ_x	σ_y	σ_x	σ_y	σ_x	σ_y
直進	49	30	90	75	63	51	38	19
右回頭	72	42	48	22	165	121	96	96
左回頭	13	14	13	-11	14	-7	17	16
ラミング	58	22	84	50	38	-9	13	-6

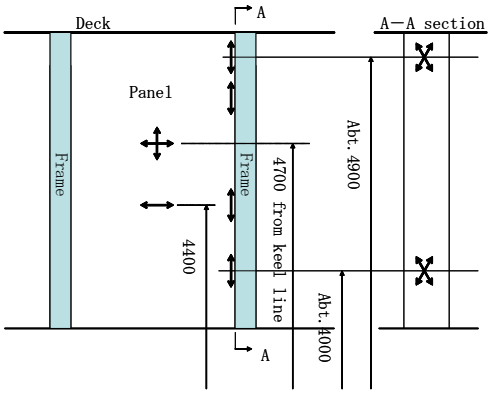
＋：引張方向、－：圧縮方向

表－４　フレームにかかる最大氷荷重

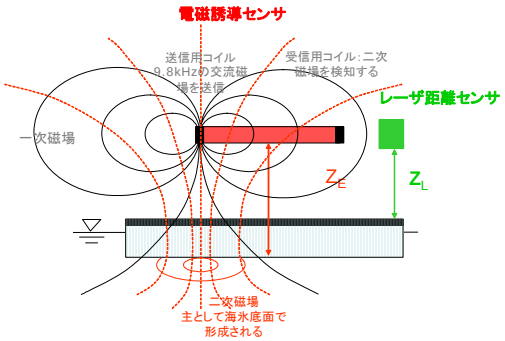
	② [kN/m]	③ [kN/m]	④ [kN/m]
直進	190	236	75
右回頭	161	336	327
左回頭	42	58	27
ラミング	184	155	240



図－１　各区画とステーションの位置

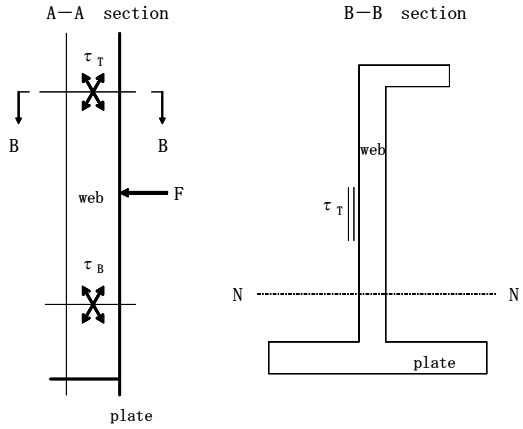


図－２　歪ゲージの設置状況

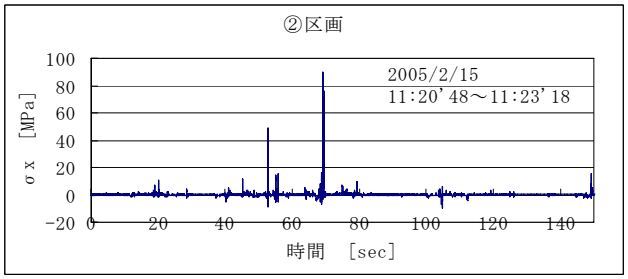


全氷厚　$Z_I = Z_E - Z_L$

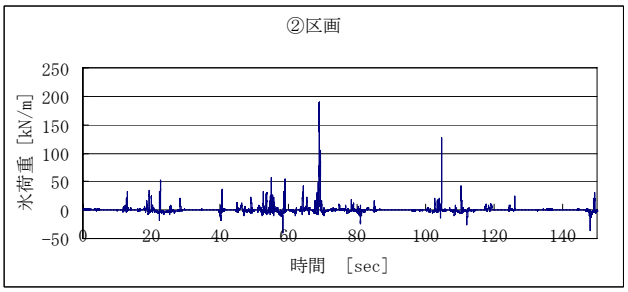
図－３　氷厚計測手法

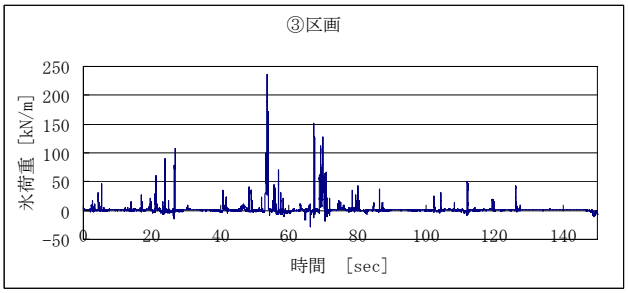


図－４　フレームの剪断応力と氷荷重

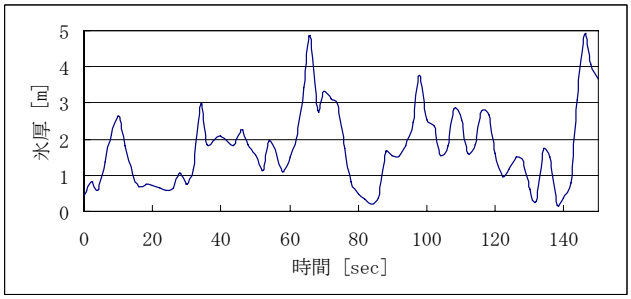


図－５　直進状態での応力の時間変化





図－６　直進状態での氷荷重の時間変化



図－７　直進状態での氷厚の時間変化