実船を用いた船体応答計測について

武田 誠一*・佐藤 要*・井上 清*

A Study on Hull Response by Field Measurement

Seiichi TAKEDA, Kaname SATOH and Kiyoshi INOUE

Abstract

It is important to confirm the hull response of a fishing boat in operation for checking the safety sea-keeping qualities and automation of fishing. For this purpose, a hull response system was developed and installed on the training ship Shinyo-maru (Tokyo University of Fisheries).

Before a long time testing on board, we had a performance test for the system when the ship was on the still water. We measured and analyzed specially on the longitudinal bending stress. It was confirmed that the experimental values acting on the midship agree with the calculated one.

Also the hull response while cruising was analyzed utilizing on board test of the system. Using wave direction as a parameter, a high correlation between the wave height and the hull responses, as well as among each of hull responses was obtained. This suggests that one of the hull responses could be estimated using the value of other hull response.

1. 緒 言

実際に運航している船舶の船体運動、応力、加速度等に関する船体応答を直接計測し、その状態を操船者に提供し操船上の判断に役立てることを目的としたシステムが大型貨物船等を対象として開発され^(1~4)、理論値との比較やシステムの必要性についても検討がなされている^(5~10)。一方、漁船は一般商船と異なる運航条件、即ち各種漁具・漁業機器を船上に配置し、操業を行なうという付加的条件が課せられており、またその船体形状も大きく相違する。このことは漁船の船体運動特性に強い影響を及ぼすものと考えられ、海洋波中の船体運動の実船計測およびそれらのデータ解析結果についての報告もなされている^(11~14)。

筆者らは、漁船においてもその船体応答諸量を直接計測するシステムが必要であると考え、漁船のための船体応答解析システムを東京水産大学練習船神鷹丸に設置し、長期の計測を開始している⁽¹⁵⁾。船体応答諸量のうち、船体構造の基礎ともなる船体縦応力について、供試船の入渠期間に静水中と乾船渠着床中について縦応力の変化状態等を計測するとともに⁽¹⁶⁾、航行中の船体応答について実船計測実験を実施し⁽¹⁷⁾、応力、加速度等の頻度分布、ならびに各船体応答と波高、および波の出会い角度との相関について解析し、若干の知見を得たのでここに報告する。

2. 実船実験の概要

2.1 供試船および計測装置

供試船は東京水産大学練習船神鷹丸で、船尾トロール型の船型である。その主要目を表1に示す。神鷹丸に設置した船体応答解析システムは、多岐にわたる監視項目の計測データをテレビモニタを通じて操船者に提供し、同時にデータの記録及び解析を行なうことができるものである。機器の構成、ならびに各種センサの配置については文献⁽¹⁵⁾を参照されたい。

* 正会員 東京水産大学（〒105 東京都港区港南4-5-7）

表1 神鷹丸の主要目

Item	Remark
Gross tonnage	649.0 tons
Length between perpendiculars	53.000 m
Breadth molded	10.600 m
Depth molded	6.800 m
Main engine	4 cycle medium speed diesel
output	1,580 kW
revolution	900 rpm

2.2 実験方法

2.2.1 静水状態

本実験では、各種センサのうち応力計、加速度計、傾斜計の作動状況、基準点の確認等を静水状態で実施するとともに、監視項目の基本となる縦曲げ応力を応力計（歪ゲージ）により計測を行なった。船楼甲板の縦曲げ応力の計測は1987年12月

に神鷹丸が乾船渠に入渠した際に行なわれた。船体応力の計測基準については、入渠時、船渠門を閉鎖し水面が静穏となった静水状態で各機器を調整し零点を求め、この時の船体状態を基準とした。加速度、船体傾斜については、船体が盤木に着床し支柱により完全に垂直状態に保たれた時期に、その基準を定めた。

乾燥渠入渠中は全ての清水槽及び脚荷水槽を空にしているが、入出渠時の各水槽への清水積込量は同量となる様に配慮している。

2.2.2 航行状態

実験は波高および波の出会い角度と船体応答との関係を明らかにすることを目的とした。波の出会い角度が右廻りで0, 45, 90, 135, 180, 225, 270, 315度となるように神鷹丸を航走させ、各センサからのデータを、サンプリング間隔0.5秒で10分間の計測を常態としている。プロペラ翼角は17.0度で一定とした。燃料ハンドル位置も同様に一定である。

表2 実験時の最大波高および有義波高(m)

Test No.	Date	Maximum	Significant
1	Jul. 21, 1988	1.22	0.83
2	Jul. 27, 1988	1.74	1.13
3	Aug. 4, 1988	2.45	1.45
4	Aug. 23, 1988	1.13	0.72
5	Jan. 30, 1989	4.72	3.24
6	Jan. 31, 1989	1.90	1.26

実験は、1988年7月21日に第1回目を実施し、1990年1月31日迄、計6回行なった。表2に各実験時の最大波高と有義波高を示す。最大波高は1.13~4.72m、有義波高で0.72~3.24mと、平穏な海況から荒天の海況までの広範囲にわたって実験が実施された。なお、5回目の実験では、計測中に船体横傾斜が大きくなったため、途中で実

験を中止した。したがって、計測は波の出会い角で180度から0度迄（右廻り）の5点方位となった。

3. 結果および考察

3.1 静水状態

入渠時の船体が盤木に着床する迄の応力変化を図1に、出渠時の船体が浮上する迄の応力変化を図2に示している。両図とも縦軸に応力値を、横軸に時間をとっており、実線は船首部縦曲げ応力を、一点鎖線は中央部縦曲げ応力を、二点鎖線は船尾部縦曲げ応力をそれぞれ示している。応力値の符号は、甲板が引っ張り、即ち船底面が圧縮となる縦曲げ応力を正とした。

図1の船体着床初期、即ち入渠時において船体船首部の竜骨が盤木に接触した（45分後）頃、および図2の船体浮上初期、即ち出渠時の船体船首部の竜骨が盤木から離れた（約30分後）頃に、船体中央部に $+0.4\text{kg/mm}^2$ の曲げ応力が作用しているのが認められる。これは船体中央部に集中する浮力によるものと考えられる。入渠時船渠門を閉鎖しまだ船体が浮上している状態を基準とするため、このときの各部の応力値が零となるように各機器を調整したが、表3に示すように、船尾部に関しては $+0.1\text{kg/mm}^2$ の応力値が初期状態として残っている。

入渠時、乾船渠内の海水の排出が完了し、船体が盤木に完全に着床した状態での各部の応力値は、船首部で、 -0.2kg/mm^2 、中央部で -1.3kg/mm^2 、船尾部で $+0.6\text{kg/mm}^2$ であった。このことより船体が浮上している時との応力差は、船首部で -0.2kg/mm^2 、中央部で -1.3kg/mm^2 、船尾部で $+0.5\text{kg/mm}^2$ となる。したがって、船体が盤木に着床している状態を基準にして船体が浮上している状態を考えると、船体が浮上している状態では船首部、中央部には甲板に引っ張りの力が作用しているのに対し、船尾部には圧縮の力が作用していることがわかる。

出渠時乾船渠内へ海水注水を開始する前の船体が盤木に着床している状態での各部の応力値は、船首部で -0.9kg/mm^2 、中央部で -1.3kg/mm^2 、船尾部で $+0.5\text{kg/mm}^2$ を示し、入渠時に盤木に着床している状態と比較すると、中央部と船尾部ではほとんど差が認められないのに対し、船首部では -0.7kg/mm^2 の差が生じている。この原因

は後述するように、気温の影響によるものと考えられる。

乾船渠内への海水注水が完了し船体が浮上した時の各部の応力値は、船首部で -0.3kg/mm^2 、中央部で -0.1kg/mm^2 、船尾部で 0.0kg/mm^2 であった。この時の船体が浮上している状態と、船体が盤木に着床している状態との応力差は、船首部で -0.6kg/mm^2 、中央部で -1.2kg/mm^2 、船尾部 $+0.5\text{kg/mm}^2$ となる。これを入渠時と比較すると、船体中央部と船尾部ではほぼ同じ値となっているのに対し、船首部では $+0.4\text{kg/mm}^2$ の差がみられた。

なお入渠時船体船尾部が盤木に乗ってから排水完了迄に要した時間は約4時間であり、出渠時注水から船体浮上までに要した時間は約40分である。

乾船渠入渠中の船体各部の応力と、気温の日変化を図3に示す。縦軸に気温および応力値を、横軸には時間をとっている。○印を連ねた実線は気温を、●, ■, ▲印を連ねた実線はそれぞれ船首部、中央部、船尾部の各船体縦曲げ応力を示している。船体各部の応力は一定していない。これは入渠中も船体諸工事のため、機械等の積み降ろしが日中行なわれているためである。この重量変化が応力値に影響を与えているものと思われるが、船体中央部及び船尾部の応力変化に比較して、船首部の応力変化と気温の日変化に強い相関が認められる。船体中央

図1 入渠時の甲板縦曲げ応力の変化

— : 船首部
 - - - : 中央部
 : 船尾部

図2 出渠時の甲板縦曲げ応力の変化

図3 気温と甲板縦曲げ応力の日変化

○ : 気温
 ● : 船首部
 ■ : 中央部
 ▲ : 船尾部

表3 入出渠時の船体縦曲げ応力 (kg/mm²)

		bow-ward	midship	sternward
Docking	floated	0.0	0.0	+0.1
	on the keelblocks	-0.2	-1.3	+0.6
Undocking	on the keelblocks	-0.9	-1.3	+0.5
	floated	-0.3	-0.1	0.0

部及び船尾部の歪ゲージ張り付け箇所は、直接日射の影響を受けることがないのに対し、船首部は日射の影響を直接受けるような条件下にあり、日射による鉄板の伸縮が計測値に影響を及ぼしたものと思われる。この乾船渠入渠中に、加速度計と傾斜計の基準点を求めたが、入渠期間中には零点の移動は見られなかった。

建造時に、詳細な積み上げ計算によって作成された神鷹丸の船体重量分布および浮力分布の資料⁽¹⁸⁾より、入渠時および出渠時の船体状態における剪断力曲線と、縦曲げモーメント曲線を求め、図4(a)~(b)に示す。縦軸に剪断力と縦曲げモーメントをとり、横軸に船の長さを船首垂線(F.P.)を右側に、船尾垂線(A.P.)を左側にとっている。船体中央より左側の部分(後部)が右側の部分(前部)を下方に剪断する場合の剪断力を正、また甲板が引っ張り、即ち船底面が圧縮となる縦曲げモーメントを正とした。図4(a)~(b)に示されているように、計算によれば入出渠状態の船体には、船首尾にわたって甲板が引っ張り、船底面が圧縮となる縦曲げモーメントが働き、いわゆるホギング状態となっているのがわかる。

入出渠時、縦曲げ応力計を設置している箇所(中央部)における縦曲げモーメントは、図4(a)~(b)の縦曲げモーメント曲線より、入渠時 876.96 t-m, 出渠時 886.64 t-m を得る。

船体の曲げ応力 σ は、曲げモーメントが最大となる中央部付近で、断面係数(断面抵抗率)が最も小さい断面(強度断面)において次式によって計算される。

$$\sigma = \frac{1000 \times M}{Z} \quad [\text{kg/mm}^2] \quad (1)$$

M : 静水中縦曲げモーメント [t-m]

Z : 断面係数 [mm²×m]

神鷹丸の断面係数は、667,080 mm²×m と計算されており⁽¹⁹⁾、船体中央部での縦曲げ応力 σ は、(1)式より

$$\sigma(\text{入渠時}) = 1.31 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma(\text{出渠時}) = 1.32 \text{ kg/mm}^2$$

となる。

入出渠時に於ける計測では、表3に示したように船体浮上時と船体着床時との応力差はいずれも 1.3 kg/mm² であり、前記の計算値とよく一致している。またこの値は神鷹丸の許容縦曲げ応力値の 1/9 にあたる大きさである⁽¹⁶⁾。

図4 剪断力曲線および縦曲げ応力曲線

3.1 航行中

船体応答解析システムにより得られたデータを用いて、前述の各文献^(1~4)で船体応答の変動の指標として用いられている累積エネルギー密度の平方根 $\sqrt{E}$ を求めた。

甲板縦曲げ応力(船首部●印, 中央部■印, 船尾部▲印)および船体加速度(船首部垂直加速度○印, 船橋水平加速度□印)について $\sqrt{E}$ の分布を図5, 図6に示す。縦曲げ応力の作用は船尾部で最も小さく、次いで船

首部、中央部の順で大きくなっているが、全体的に応力の変動レベルは非常に低く、約80%が 0.2kg/mm^2 以下であった。長期間の実測が行なわれている自動車運搬船や大型ばら積貨物船の例^(2,3)と比較しても神鷹丸の応答レベルは低い。 $\sqrt{E}$ の最大値は、有義波高で3.24mの波を船首右45度を受けて航走している時に計測された。その値は 0.43kg/mm^2 である。このときの変動のピーク値は $+1.38 \sim +2.92\text{kg/mm}^2$ であり、甲板縦曲げ応力はホギング状態の範囲内での変動となっている。前述の船舶の例では、その変動値がサギング状態側にまで及んでいる点に相違がある。これは神鷹丸の船体横断面の断面係数が、建造時の計算値で $667,080\text{mm}^2 \times \text{m}$ と、船体縦強度に十分余裕があること、および船体長さや波長の関係により、神鷹丸の場合では応力の値がホギング状態の範囲の中だけで変動したものと考えられる。

船首部垂直加速度の $\sqrt{E}$ の最大値は $0.164g$ であり、有義波高で3.24mの波を船首方向より受けて航走している時に計測された。その時の変動のピーク値は $+0.303$ （+記号は上向き） $\sim -0.376g$ （-記号は下向き）であった。また船橋の水平加速度の $\sqrt{E}$ の最大値は有義波高で3.24mの波を右舷正横より受けて航走している時に計測され、 $0.164g$ であった。変動のピーク値は $+0.158$ （+記号は右向き） $\sim -0.254g$ （-記号は左向き）である。この海況で左舷正横より波を受けて航走した時の水平加速度の計測は、前述したように船体横傾斜が大となったために、実施されていない。前述の自動車運搬船および大型ばら積貨物船と神鷹丸との比較では、その相違は特に認められなかった。

図5 甲板縦曲げ応力の $\sqrt{E}$ の分布

- : 船首部
- : 中央部
- ▲ : 船尾部

図6 加速度の $\sqrt{E}$ の分布

- : 船首垂直加速度
- : 船橋水平加速度

図7(a)~(e)は波高・波の出会い角度と、船体応答との関係について示したものである。各図とも縦軸に応答の $\sqrt{E}$ の値をとり、横軸に波の出会い角度をとっている。図中の●, ○, ■, □, ▲, △印は、それぞれ有義波高0.72, 0.83, 1.13, 1.26, 1.45, 3.24mの海況時の値を示す。

図7(a)~(c)に船首部、中央部、および船尾部の船体縦曲げ応力の解析結果を示す。これによれば、応力変動が小さくなるのは左舷正横に波を受けて航走している状態である。しかしながら、応力変動が大きくなる状態は船体各部で若干の相違が認められる。即ち、中央部では波の出会い角度で225度(右斜め後方から波を受ける状態)、船尾部では315度(右斜め前方から波を受ける状態)で応力変動が大きくなるのに対し、船首部では225度~315度の範囲でその変動が大きくなっている。また、相対的に左舷側に波を受けて航走している状態よりも、右舷側に波を受けて航走している状態がその応力変動は大きいものとなっている。これは応力センサが左舷側にのみ設

(a) 船首部甲板縦曲げ応力

(b) 中央部甲板縦曲げ応力

(c) 船尾部甲板縦曲げ応力

(d) 船首垂直加速度

(e) 船橋水平加速度

図7 船体応答と波の出会い角度との関係

置されていることに起因していることも考えられる。したがって応力センサは両舷の対称な位置に設置することが望ましいと考える。

図7(d)に示すように船体のピッチング運動に対応する船首部垂直加速度は、向かい波を受けて航走する状態ほどその変動が大きく、追い波を受けて航走する状態ほど変動が小さくなることが顕著である。また船体のローリング運動に対応する船橋の水平加速度については、図7(e)に示すように、船体正横から波を受けて航走する状態でその変動は大きくなっている。

図7(a)~(e)によれば各船体応答とも波高の大きさにより、その変動が大きくなる傾向が認められる。波高と各船体応答との相関係数を求め各船体応答諸量と波高との関係を調べた(表4)。その結果、波高と各船体応答との間に強い相関が認められ、また各船体応答間にも波の出会い角度毎に高い相関をもつ組み合わせが認められる。したがって、波の出会い角度を把握し任意の船体応答を計測することにより、他の応答を推定評価することが可能と考えられる。ただし、推定式を構築するにはさらに継続的な計測によるデータの蓄積が必要と考える。

各船体応答データについてスペクトラム解析を行ない、パワースペクトラムの卓越するピーク周期と波高および波の出会い角度との関係を示したものが図8(a)~(e)である。各図とも縦軸に周波数を、横軸に波の出会い角度をとっている。

図8(a)~(c)に示すように、船体縦曲げ応力の変動の周波数特性には波の出会い角度の影響が顕著に現われている。即ち、追い波を受けて航走する状態になるほどその変動周期は長くなり、その値は向かい波を受けて航走する状態の約4~7倍に達している。これは、波との出会い周期の相違が現われたものと考えられる。

図8(d)に船首垂直加速度の変動の周波数特性を示すが、波高および波の出会い角度の違いによる影響はあまり認められず、その値は $0.2 \pm 0.03 \text{ Hz}$ の範囲である。しかしながら、有義波高で3.24mの状態では、波を斜め後方に受けて航走した場合および船尾方向より波を受けて航走した場合の周波数特性がそれぞれ、0.088Hz, 0.064Hzと極端に低く、ピッチング運動の周期が長くなっていることが認められた。波高の度合によってピッチング運動の周期にどのような変化が生じるのかという問題についても、今後さらにデータの蓄積が必要と考える。

船橋の水平加速度の変動の周波数特性を図8(e)に示すが、波高および波の出会い角度の違いによる影響はあまり認められず、 $0.11 \pm 0.01 \text{ Hz}$ と船首垂直加速度に比較して更に周期変動が小さい。このことは、実験を実施した海況の範囲では船体の横動揺周期がほぼ一定なことを示している。なお、垂直加速度ならびに水平加速度の計測値には上下動、左右動の影響が含まれているものと考えられるが、これらについては今後更に多くの計測処理による検討が必要である。

結 言

静水状態に於ける甲板縦応力の計測並びに計算値との比較・検討を行なうとともに航行中の船体応答について実船計測実験を実施した。その結果を要約すると以下の通りである。

(1) 船体中央部における縦曲げ応力値は計測値と計算値がよく一致しており、船体応答の計測・解析を行なう

表4 波高および船体応答の相関行列

Course	W.H.	Acc.1	Acc.2	Str.1	Str.2	Str.3
0°	1.000	0.964	0.236	0.877	0.882	0.978
		1.000	0.041	0.812	0.773	0.961
45°			1.000	0.477	0.411	0.179
				1.000	0.880	0.916
90°					1.000	0.854
						1.000
135°	1.000	0.534	0.673	0.397	0.172	0.753
		1.000	-0.219	0.154	-0.632	0.199
180°			1.000	0.564	0.831	0.842
				1.000	0.573	0.838
225°					1.000	0.605
						1.000
270°	1.000	0.770	0.821	0.593	0.156	0.731
		1.000	0.855	0.083	0.220	0.920
315°			1.000	0.525	0.548	0.759
				1.000	0.371	0.016
135°					1.000	0.343
						1.000
180°	1.000	0.579	0.901	0.862	0.824	0.675
		1.000	0.824	0.416	0.431	0.431
225°			1.000	0.643	0.614	0.472
				1.000	0.936	0.936
270°					1.000	0.959
						1.000
315°	1.000	-0.333	0.072	0.590	0.871	0.817
		1.000	0.830	0.270	-0.087	-0.006
225°			1.000	0.668	0.376	0.425
				1.000	0.893	0.925
270°					1.000	0.992
						1.000
315°	1.000	0.239	0.464	0.666	0.933	0.597
		1.000	0.895	0.668	0.403	0.809
270°			1.000	0.851	0.677	0.918
				1.000	0.864	0.978
315°					1.000	0.795
						1.000
270°	1.000	0.807	0.925	0.939	0.811	0.949
		1.000	0.845	0.878	0.880	0.890
315°			1.000	0.961	0.924	0.917
				1.000	0.960	0.987
315°					1.000	0.924
						1.000
315°	1.000	0.913	0.405	0.874	0.830	0.921
		1.000	0.492	0.956	0.932	0.982
315°			1.000	0.364	0.339	0.485
				1.000	0.994	0.981
315°					1.000	0.969
						1.000

W.H. : Significant Wave height
Acc.1 : Vertical Acceleration
Acc.2 : Lateral Acceleration

Str.1 : Deck Stress at bow-ward
Str.2 : Deck Stress amidship
Str.3 : Deck Stress at sternward

上で一つの基準とすることができた。

- (2) 船体船首部で計測している縦曲げ応力には、設置箇所の関係から気温の影響が強く現われているので、航行中及び操業中の計測時にはその影響を充分に考慮する必要がある。
- (3) 船体応答データの頻度分布から、神鷹丸は船体縦強度が大きいことが確認され、実験を実施した海況の範囲での応力の $\sqrt{E}$ の最大値は 0.43kg/mm^2 であった。また、船首垂直加速度ならびに船橋の水平加速度の $\sqrt{E}$ の最大値はともに $0.164g$ であった。
- (4) 船体縦曲げ応力の変動レベルは、右舷側に波を受けて航走している状態での変動レベルが左舷側のそれよりも高く、特に右舷斜め後方から波を受けて航走する状態で高い。
- (5) 船首部垂直加速度は向い波の状態に近づくほどその応答レベルは大きくなる。一方船橋の水平加速度は、横波を受ける状態に近づくほど応答レベルが大きくなる。
- (6) 航行中における船体応答諸量は、波との出会い角度をパラメータとしたときに、波高との間に強い相関が認められた。また各船体応答間においても同様の関係を認めることができた。したがって任意の船体応答を計測することにより他の船体応答の推定評価をする可能性が示唆された。
- (7) 船橋の水平加速度の周波数特性を解析することにより、神鷹丸の横動揺周期は、実験を実施した海況の範囲では波高および波との出会い角度に係わらず一定である。

参 考 文 献

- (1) 山本政治・平川雄二・山口賢二：航海情報システム (CANCY-II) について，日本造船学会誌，第701号，pp. 767-771，1987
- (2) 菅井和夫・湯浅通史：船体強度モニタリングシステムについて，日本造船学会誌，第705号，pp. 153-176，1988
- (3) 染矢隆一・岡田裕・有川彰一・仁藤雅夫・八木光・国武吉邦：波浪中における操船判断に関する実証的研究—その1 船体運動状態表示の開発—，日本造船学会論文集，第161号，119-127，1987
- (4) 秋田好雄，船体縦強度に関するトータルシステム，日本造船学会論文集，第135号，pp. 229-238，1976
- (5) 湯浅通史・鈴木康平・多田羅豊：船体強度モニタリングシステムの実船試験，日本海事協会誌，第190号，pp. 88-98，1985
- (6) 湯浅通史・鈴木康平・多田羅豊：実船の就航時の船体応答について(第1報 自動車運搬船の船体応答)，日本造船学会論文集，第159号，pp. 217-228，1986
- (7) 湯浅通史・河地三郎・鈴木康平・多田羅豊：実船の就航時の船体応答について(第2報 大型ばら積貨物船の船体応答)，日本造船学会論文集，第161号，pp. 293-303，1987
- (8) 湯浅通史・鈴木康平・多田羅豊：実船の就航時の船体応答について(第3報 船体応答の監視)，日本造船学会論文集，第163号，pp. 314-321，1988
- (9) 高橋幸伯・小畑和彦・能勢義昭・杉田洋一：コンテナ船の長期実船計測(第1報)，日本造船学会論文集，第150号，pp. 327-332，1981
- (10) 高橋幸伯・小畑和彦・能勢義昭・杉田洋一：コンテナ船の長期実船計測(第2報)，日本造船学会論文集，第152号，pp. 268-274，1981
- (11) 西ノ首英之・川島利兵衛：実船試験による漁船の耐航性について—Ⅲ，日本航海学会論文集，第55号，pp. 1-6，1976
- (12) 西ノ首英之・川島利兵衛：実船試験による漁船の耐航性について—Ⅳ，日本航海学会論文集，第56号，pp. 77-89，1976
- (13) 西ノ首英之・川島利兵衛：実船試験による漁船の耐航性について—Ⅴ，日本航海学会論文集，第56号，pp. 91-100，1976
- (14) 西ノ首英之・川島利兵衛：実船試験による漁船の耐航性について—Ⅵ，日本航海学会論文集，第57号，pp. 101-105，1977
- (15) 井上清・武田誠一・今関昭博・宮崎芳夫・佐藤要・山口雄三：東京水産大学神鷹丸船体応答解析システム，

日本航海学会誌, 第94号, 49-53, 1987

- (16) 武田誠一・佐藤要・井上清・宮崎芳夫：船体応力計測システムの静的性能について, 東京水産大学研究報告, 第75巻2号, pp.361-374, 1988
- (17) 武田誠一・佐藤要・井上清・宮崎芳夫：神鷹丸の航行中の船体応答について, 東京水産大学研究報告, 第77巻1号, pp.83-93, 1990
- (18) 住友重機械工業(株)：東京水産大学練習船神鷹丸軽荷重量重心計算書等, 1984
- (19) 住友重機械工業(株)：東京水産大学練習船神鷹丸構造部材計算書等, 1984

質 疑 応 答

桑島 進(東京商船大学)：有義波高最大(3.24m)の時の神鷹丸の最大ローリング角, ピッチング角はどの程度であったのか教えてください。

武田誠一：船首より波を受けて航走している時に最大ピッチング角が計測され7.3(船首上向き)～7.5度(船首下向き)です。最大ローリング角は右舷正横に波を受けて航走している時に計測され, 17.0(右傾斜)～23.0度(左傾斜)でした。