

かごしま丸のプロペラ翼換装結果について— I — 船体振動の軽減 —

関 岡 幹 尚・宮 原 圭 一
田 中 久 雄・島 里 錠 次

Comparative Study on the Utility of Highly Skewed Propeller in Kagoshima-maru— I Effect of Reducing Vibrations

Mikihisa Sekioka*, Keiichi Miyahara*, Hisao Tanaka*, and Joji Shimazato*

Keywords : highly skewed blade (HSB), conventional blade (CB), controllable pitch propeller (CPP), exciting vibration force, hull vibration

Abstract

Hull vibrations are consist of vertical, athwart and longitudinal ones. Reducing these hull vibrations becomes increasingly important to make better surroundings for crew and to prolong the life of ship hull and machines.

This report shows how hull vibrations are reduced by replacing conventional CPP blades with highly skewed CPP blades.

The results of the replacement are as follows:

- 1) Vertical and longitudinal vibrations are effectively reduced and further both vibrations perceived by human bodies are reduced at the stern part of the ship.
- 2) The further the distance from the propeller, the smaller the effect of reducing vertical vibrations, and the tendency of reducing longitudinal vibrations is recognized up to near the main engine.
- 3) Athwart vibrations are hardly reduced at the almost every part of the ship.

船舶に於ける居住性や作業環境の改善あるいは、船体および機器の耐久性の向上という面から、近年船体振動や騒音の軽減に関する要求が極度に高まっている。

船体振動の原因の一つとしてプロペラの起振力が重視され、それを減少させることが、船体振動軽減のための有効な対策となることが多くの研究により知られている¹⁻⁶⁾。

プロペラ起振力には、プロペラ軸、船尾軸受を介して船体に伝えられるベアリング・フォースと海水を介した圧力変動としてプロペラ近傍（特に真上）の船体に伝えられるサーフェイ

* 鹿児島大学水産学部練習船かごしま丸
(Training Ship Kagoshima-Maru, Faculty of Fisheries, Kagoshima University, 50-20
Shimoarata 4-chome Kagoshima-shi, Kagoshima 890, Japan)

ス・フォースがある。

ベアリング・フォースは、プロペラが不均一な流れの中で回転しているため翼への流入速度が変わると、翼の発生する揚力および抗力が変化することによって発生し、揚力の軸方向成分はスラスト変動となり、回転方向成分はトルク変動としてプロペラ軸へ伝えられる。さらに、スラスト変動からモーメント変動、トルク変動から横力変動が誘起され、このモーメント変動および横力変動は上下方向と水平方向にそれぞれ作用する。

サーフェイス・フォースは、プロペラ翼が回転し、船体後方を横切ることによって発生する周期的な圧力変動を原因としており、船底外板は傾斜しているため、その圧力変動は水平成分と垂直成分に分けられるが、一般に水平成分は小さく、垂直成分が船尾部の上下振動の主な原因となっている⁷⁾⁸⁾。これらの起振力減少対策として近年脚光を浴びているのがハイリースキュードプロペラである。

ハイリースキュードプロペラは、翼面形状にスキューを与えられており各翼素上加わる流体力学的な圧力に時間的なずれ即ち位相差を生ずることによって、起振力、ノイズ等を減少させることを狙ったものである。スキュードプロペラのアイデアはすでに100年ほど前からあったが⁹⁾、設計や工作上的の困難さから実用化に到らず、近年になり工作機械のNC（数値制御）化で漸く実現した。日本においてはプロペラメーカーが昭和54年頃から開発を始め、同56年頃実用化にこぎつけた¹⁰⁾。

本報では、可変ピッチプロペラを装備した船舶において、従来型のプロペラ翼CBをハイリースキュードプロペラ翼HSBに換装し、それぞれの場合について、船体各部の振動を計測し、HSBを採用したことにより振動がどの程度軽減されたかを実験的に計測比較した結果について報告する。

実験概要

1. 実験船の主要目

実験船（かごしま丸）は、昭和56年建造の1300GT 船尾トロール型漁業練習船で、一基一軸、中央機関である。船体及び主機関の要目をTable 1に、プロペラの要目をTable 2にそれぞれ示す。

2. プロペラ設計の方針

換装用HSBの設計の基本方針を次のとおりとした。

- 1) 翼のみの換装とし、直径およびピッチならびに、翼巾および展開面積も同一とする。
- 2) 過度な翼応力が生じないようにスキュー角は45°とし、前縁側13.5°、後縁側31.5°のパラノイドスキューとする。
- 3) 推進性能をCBと同等かそれ以上とする。
- 4) 翼材質はCBと同じくKALBC3とする。CB及びHSBの翼形状をFig. 1に示す。

3. 実験の方法

振動が問題となるのは主に前進航走中であることから、翼換装工事の前後にそれぞれ通常の航海速度で航走し、Fig. 2に示す10箇所の測定点を定めて振動（変位＝両振幅）を計測した。

Table 1. Principal Specifications of Hull & Main Engine

HULL	
Class	Fisheries training ship
Length · Breadth · Depth	69.27×2.60×5.45 m
Desinged load draught	4.80 m
Block coefficient	0.585
Gross tonage	1,292.75 ton
Speed	13.00 knot
MAIN ENGINE	
Type	Single acting 4 stroke cycle diesel engine with exhaust gas turbine
Number of cylinder	6
Diameter of cylinder	320 mm
Length of stroke	640 mm
Maximam continuous out put	2,200PS×280RPM
Normal out put	1,870PS×265RPM

Table 2. Principal Specifications of Propeller

Type	Conventional propeller	Highly skewed propeller
Diameter	3,100 mm	3,100 mm
Pitch	2,170 mm	2,170 mm
Pitch ratio	0.700	0.700
Disc area	75,477 cm ²	75,477 cm ²
Expanded area	36,968 cm ²	36,968 cm ²
Projected area	33,512 cm ²	33,512 cm ²
Expanded area ratio	0.490	0.490
Projected area ratio	0.444	0.4443
Boss ratio	0.289	0.289
Blade thickness ratio	0.0469	0.0497
Number of blades	4	4
Rake angle	0°	0°
Weight	1,456 kg	1,500 kg
Material	KALBC 3	KALBC 3
Skew angle	9.3°	45°
Classification	NK	NK

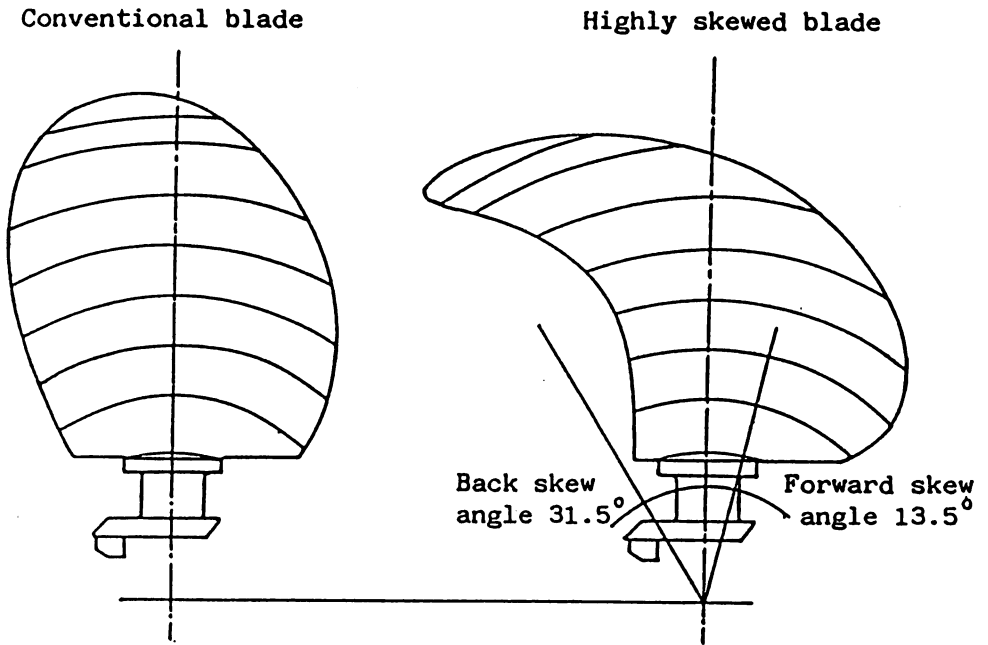


Fig. 1. Blade contour.

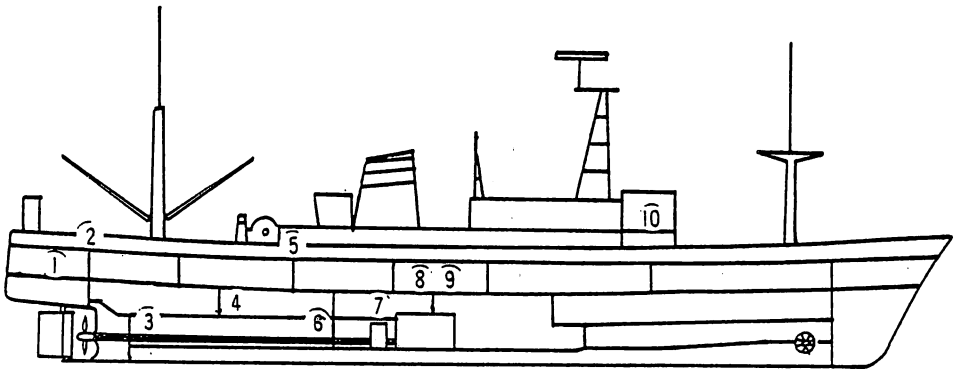


Fig. 2. Measured points.

4. 計測日および計測条件

1) 計測日 CB 装備時 昭和62年9月21日

HSB 装備時 昭和62年10月3日

2) 計測条件 CB と HSB による計測条件をほぼ同じにするため, 下記の項目を考慮した。

- (1) CB による計測は入渠直前であり, プロペラの汚損(カキ, フジツボ等の付着)による抵抗の増加が予測されたため, 潜水夫によるプロペラの清掃及び研磨を行った。
- (2) 計測は両方とも同じ海域(弓削沖)で行い, 海況もほぼ同じであった。
- (3) プロペラ毎分回転数(185.5), 軸馬力(1170PS), および排水量(1850トン)は両計測時ともほぼ同一とした。

5. 計測器及び計測方法

1) 計測器 サン電子工業製

型式 MD-150 SX (FFT)

2) 計測方法 振動の計測は V 方向(垂直), A 方向(水平・左右舷方向), L 方向(水平・船首尾方向)の変位をスペクトルモード(縦軸に変位量, 横軸に周波数を取り, 4 回分の波形を平均化して表示する。)で測定した。

さらにスペクトル測定したグラフから, プロペラによる振動周波数成分の①~⑤次
 $(185.5 \text{RPM} \times 4 \div 60 = 12.37 \text{ Hz} \text{ ① } 12.37 \text{ Hz} \approx 12.5 \text{ Hz} \text{ ② } 24.73 \text{ Hz} \approx 25.0 \text{ Hz} \text{ ③ } 37.10 \text{ Hz} \approx 37.0 \text{ Hz} \text{ ④ } 49.47 \text{ Hz} \approx 49.5 \text{ Hz} \text{ ⑤ } 61.83 \text{ Hz} \approx 62.0 \text{ Hz})$ をピックアップして加速度に換算 $[(2\pi f)^2 D \times 10^{-4} \times 1/2]$ した。式中の f は周波数, D は変位量を示し, 単位は gal である。

但し, 計測器の分解能が(0.5Hz)であるので数値を四捨五入して計測結果とした。

結果及び考察

Table 3 は, 各計測場所における上下(V), 水平左右(A), 水平前後(L)の各方向の振動計測値である。

上段は CB によるものを示し, 下段は HSB によるものである。なお, 計測場所の下の英小文字は甲板名を, 数字はフレーム番号*を示す。そして, Table 3 をグラフ化したのが Fig. 3-1., Fig. 3-2., Fig. 3-3. である。まず, 上下方向の振動についてみると, 特に②トロール甲板船尾において著しい減少(40%~80%)がみられ, その中でも翼振動成分の3, 4, 5次成分のものが顕著である。これに次いで①操舵機室, ③船尾管における3, 4, 5次成分の著しい減少がみられた。A 方向については, CB の場合にももともと振動は少なかったが, ①操舵機室, ②トロール甲板船尾における3, 4, 5次成分のごくわずかな減少がみられる。L 方向の振動については全般的に減少傾向がみられ①, ②, ③における各次成分の減少の他, ⑥水密隔壁における5次成分, ⑤トロールウィンチ前の3, 4, 5次成分, ④部員居住区の1, 3, 5次成分も減少している。全般的にみると船尾に近いほど振動の減少が著しいという傾向がみられた。

* フレーム番号「0」は舵軸位置を示し, 船首方向に向かって数字が増し, その間隔は0.6m

Table 3. Measured hull vibrations at each measured point, in the directions of vertical (V), athwart (A), and longitudinal (L).

Unit : gal

DIRECTIONS MEASURED POINTS (Frame No)		V					A					L				
		12.5Hz	25.0Hz	37.0Hz	49.5Hz	62.0Hz	12.5Hz	25.0Hz	37.0Hz	49.5Hz	62.0Hz	12.5Hz	25.0Hz	37.0Hz	49.5Hz	62.0Hz
①	STEERING GEAR ROOM Upper Deck (0)	1.275	7.170	16.835	23.895	16.770	1.570	0.705	3.730	5.465	10.775	0.980	5.295	11.915	9.480	12.825
		1.005	4.945	3.055	3.240	3.340	0.670	0.615	0.270	0.485	0.760	0.725	2.555	1.920	0.630	2.730
②	TRAWL DECK (S TERN) Trawl Deck (2)	3.000	6.550	15.945	38.015	39.230	1.765	2.505	3.485	2.565	3.490	2.445	5.195	6.375	15.960	12.670
		1.150	3.885	4.945	7.640	4.250	1.715	3.010	0	0	0	1.080	4.530	1.430	3.240	0.760
③	STERN TUBE Shaft (8/9)	1.520	5.010	17.430	20.895	29.215	4.165	5.060	4.565	4.065	4.930	2.250	3.245	3.080	2.225	6.375
		3.130	5.685	8.835	2.225	4.250	1.880	7.240	3.110	5.415	3.640	0.855	1.035	0.620	1.695	0.985
④	CREW'S QUARTER Second Deck (23/24)	2.935	7.490	2.380	4.065	4.250	0.575	2.330	1.190	0.725	0.910	2.105	1.025	1.840	0.630	1.595
		2.015	6.685	2.025	1.305	0	0.610	1.875	0.380	1.065	0	0.515	1.025	0.515	0.920	0.605
⑤	FORESIDE TRAWL WINCH Trawl Deck (29/30)	3.910	2.540	6.785	5.560	5.160	3.400	5.550	3.485	1.210	1.895	1.380	3.025	5.350	3.675	5.765
		2.650	3.430	0.730	1.405	0.760	2.940	4.900	0.730	0.485	0	1.000	2.750	1.565	0.725	1.140
⑥	WATERTIGHT BULKHEAD Shaft (33)	2.585	4.920	2.780	1.305	0.760	0.950	2.725	0.650	0.385	0.605	1.170	1.185	2.325	1.355	11.305
		3.025	2.480	0.730	0.725	0	0.970	3.320	0.405	0	0	0.280	1.960	1.755	2.420	1.440
⑦	ENGINE CONTROL ROOM Second Deck (40)	6.160	2.405	3.350	5.030	2.200	0.365	14.005	2.835	1.405	1.140	0.755	1.145	2.810	1.405	2.200
		7.950	2.085	1.025	0	0	0.255	15.300	1.025	0.725	1.140	0.590	3.135	1.190	0.725	1.440
⑧	OFFISER'S DINING ROOM Upper Deck (47)	10.165	25.020	6.620	3.240	2.885	3.685	10.785	1.190	0.485	0.760	1.155	3.995	0.890	0.675	1.060
		9.320	21.590	10.645	6.530	2.885	6.770	7.355	1.025	0	0	0.865	1.540	0.945	0.385	0.605
⑨	CREW'S DINING ROOM Upper Deck (48/49)	9.960	7.340	5.190	1.840	2.885	2.030	6.860	0.270	0.485	0.760	0.810	11.080	1.920	0	0
		5.505	3.985	1.295	1.405	2.200	4.240	9.870	0.405	0.725	1.140	0.535	9.140	0	0	0
⑩	WHEEL HOUSE W/H Deck (72/73)	2.515	5.315	1.565	0	0	3.600	3.800	0.755	0.725	0	1.500	3.060	2.295	0.725	1.140
		3.850	3.785	1.135	0.725	0	5.380	2.455	2.190	1.405	1.140	1.830	1.850	0.730	0.385	0.605

Note : upper - CB, lower - HSB

要 約

昭和62年の入渠時、従来型のプロペラ翼からハイリースキュードプロペラ翼への換装を行い、両プロペラ装備時のそれぞれの振動計測を船内各部において実施し、次のような結果を得た。

- 1) 船尾部分においては、垂直方向および船首尾方向（水平）の振動とも減少が顕著で、体感振動の減少も測定結果と同様であった。
- 2) 垂直方向の振動は、プロペラからの距離が大きくなるに従いその減少割合が低下し、船首尾方向の振動の減少は主機関に近い部分まで認められた。
- 3) 左右舷方向（水平）の振動はどの場所でも殆ど減少しないことがわかった。

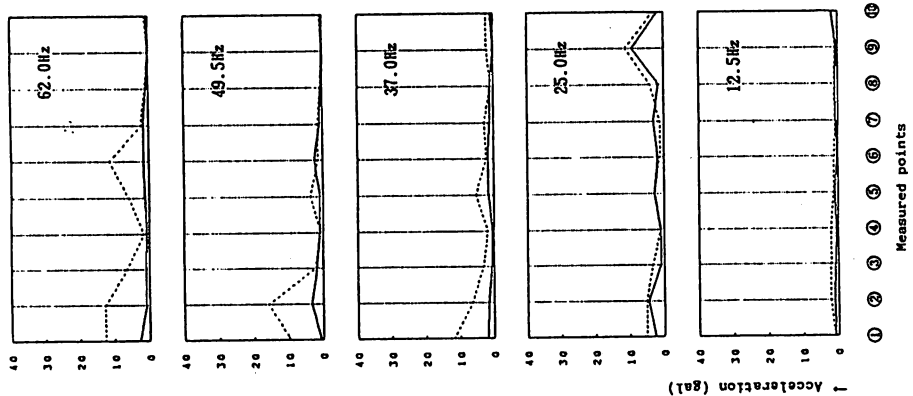


Fig. 3-1. Vertical vibrations at each measured point. --- CB, — HSB

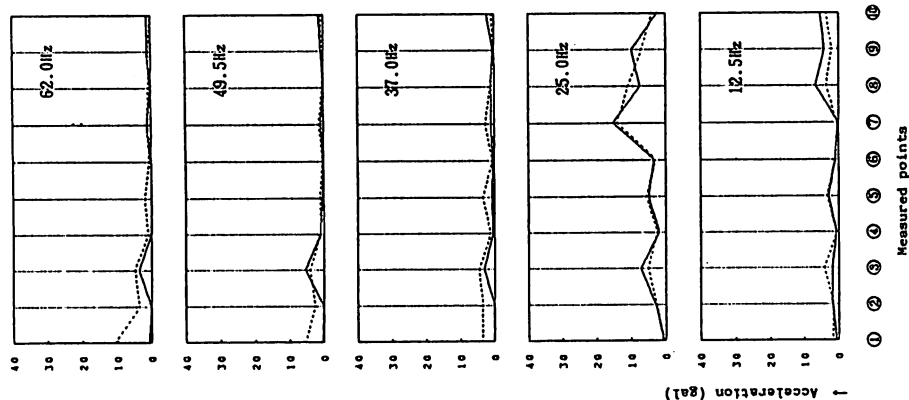


Fig. 3-2. Athwart vibrations at each measured point. --- CB, — HSB

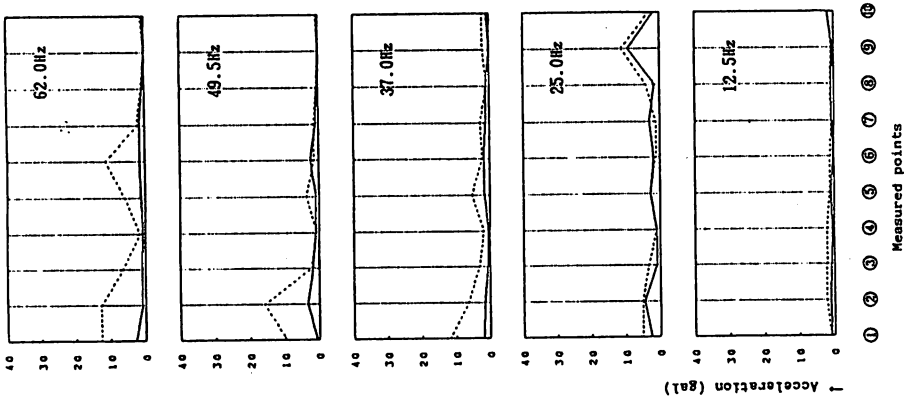


Fig. 3-3. Longitudinal vibrations at each measured point. --- CB, — HSB

文 献

- (1) 千葉規胤, 中村直人(1976): Highly Skewed Propeller について. 日本船用機関学会誌. 第11巻 9号. P.P 12~17
- (2) 丸橋亮(1978): 可変ピッチプロペラ用「スキュード・プロペラ」について. 日本船用機関学会誌. 第13巻 9号. P.P 89~94
- (3) 中島稔, 菅野博志, 久保博尚, 板谷芳樹(1982): ハイリィスキュードプロペラの系統的模型試験及び実船実験. 日本船用機関学会誌. 第17巻第1号. P.P 51~60
- (4) 広本豊, 石原泰明, 吉田穰(1983): スキュード CPP 採用による船体振動の改善. 日本船用機関学会誌. 第18巻第2号. P.P 111~116
- (5) 凌志浩, 住吉茂雄, 城戸口秀典(1985): Highly Skewed Propeller と Conventional Propeller の翼発生応力と船尾振動についての実船比較実験. 日本海事協会誌. No.191. P.P 56~66
- (6) 林義彦(1984): ハイスキュードプロペラの換装結果について. 船の科学. Vol.37. P.P 63~69
- (7) 阪神内燃機工業株式会社(1984): スキュードプロペラ. 技術部 設計第一課. P.P 3
- (8) 板沢順: スキュー型可変ピッチプロペラについて. かもめプロペラ株式会社. 技術部開発課. P.P 1~2
- (9) Von Obering, O Bjoheden(1978): "Highly Skewed controllable pitch propellers" J. STG
- (10) かもめプロペラ株式会社(1983): かもめ CPP 装備漁船のスキュードプロペラ換装による振動低減の実例. 漁船機関. Vol.59. No.686. P.P 132