三菱舶用プロペラの技術開発について*

川添 強** 阿部次也***
 錦戸真吾** 笹島孝夫****

Development of Mitsubishi Marine Propeller

By Tsuyoshi Kawazoe, Tsugiyu Abe, Shingo Nishikido, Takao Sasajima

Due to the strong demands for energy saving and improved habitability of ships, design of propellers with higher efficiency and lower cavitation induced excitation is recognized to be most important, together with matching of the propeller with the given engine and ship performances.

Under these circumstances, MHI developed propellers with integrated performances called MAP (Mitsubishi Advanced Propellers), together with a new stainless type propeller material called MC RS (Mitsubishi Corrosion Resistance Steel), intending not only improved performances but also reduced propeller weight.

1. ま え が き

最近の船舶においては、経済性ととも居住性が優れていることが強く要求されている。このことを舶用プロペラの面から考えると、プロペラ効率の向上と起振力の低減を図りながら、個々の船舶について最適なプロペラ設計が重要であることを意味する。ここでは、当社が効率の向上、起振力の低減および軽量化を目標に、最近開発したMAP (Mitsubishi Advanced Propellers) の設計技術、新材料MC RSおよび品質向上と加工精度向上を目指した製造、補修技術について報告する。

2. MAP の設計技術

2.1 MAP の設計プロセス 図1にMAPの設計フローチャートを示す。MAPの設計のために、船体、機関、軸系などの諸条件を十分に考慮しながら、個々の船舶に最適なプロペラが設計されるように、設計計算プログラムが用意されている。また、実船の船体抵抗や自航要素の推定精度を向上させるために、常に試運転解析結果がフィードバックされるシステムとなっている。

2.2 プロペラ効率の向上 MAPの翼形状は、トルスト型翼型を基礎に、プロペラ単独効率および耐キャビテーション性能の向上の面から改良を積み重ねてきたもので、従来型プロペラに比べ2%前後のプロペラ

単独効率の向上が期待できる。また、最近の低回転大直径、小面積比プロペラと組合せると、さらに効率の向上が可能となる。

2.3 スキュードプロペラの設計 近年、プロペラ起振力の低減を目的として、スキュードプロペラの研究が盛んに行われ、既に多くの実船に採用されている。当社においては、昭和50年ころよりスキュードプロペラの研究に本格的に着手し、バルクキャリア、タンカー、コンテナ、PCC船等に採用し成果をあげている。

ここでは、オーストラリア沿岸の浅水域を航行するために、プロペラ起振力の低減を要求されたANL向けボーキサイトキャリア用のプロペラを対象に、当社のスキュードプロペラの検討結果¹⁾を概説する。表1に示すように、4種類のプロペラを設計し模型試験を実施した。通常型のプロペラAをもとに、スキュー角を59°(82%)まで変化させた。

図2に有限要素法による設計作動点での翼正面側の主応力分布(プロペラAの翼根部の最大応力を基準)を示す。スキュー角が大きいCおよびDでは、半径0.6Rの後縁近傍に応力集中があり、最大応力もこの位置に発生している。

図3には、伴流中における変動応力の調査結果をプロペラ材の疲労強度との関係で示した。即ち、Bのように最大応力値が翼根部に生じる場合は疲労強度の面で安全であるが、後縁側に最大応力が生じるような応力分布は疲労強度の面でも厳しいことが示唆されており、これらの成果はスキュードプロペラの設計に反映されている。

図4には、プロペラ位相角 $\theta=20^\circ$ と 60° における軽荷状態でのキャビテーションパターンを示す。キャビテーションの発生範囲は全プロペラとも大差ないが、スキュー角の大きいプロペラの方がキャビティの消滅する位

* 原稿受付 昭和62年7月27日

昭和62年春季学術講演(昭和62年5月27日)

** 正会員 三菱重工業㈱長崎造船所(長崎県長崎市飽の浦町1-1)

*** 三菱重工業㈱長崎造船所(長崎県長崎市飽の浦町1-1)

**** 三菱重工業㈱長崎研究所(長崎県長崎市文教町3-48)

図1 MAP設計フローチャート

図2 翼正面における主応力分布の比較

表1 プロペラ主要目の比較

プロペラ	A	B	C	D
直径 (m)	7.80	"	"	7.80
ピッチ比 at 0.7R	0.8141	0.8629	0.8713	0.8782
展開面積	0.8057	"	"	0.8057
ボス比	0.1846	"	"	0.1846
翼数	5	"	"	5
レーキ角 (deg)	0	-3.0	-3.0	-2.0
スキュー (deg)	19	36	46	59
ピッチ分布	Const.	Tip unloaded	Tip unloaded	Tip unloaded
P 1.0 / P 0.7	1.0	0.627	0.627	0.507

図3 プロペラ翼の平均応力と変動応力の関係

図4 軽荷状態におけるキャビテーションパターンの比較

図5 プロペラにより誘起される変動圧力の比較

相が遅くなって、キャビティの崩壊がおだやかになっている。即ち、図5はプロペラ直上位置における無次元変動圧力値の Blade Frequency (翼数×プロペラ回転数) 成分および2倍の成分を示すが、スキュー角が大きい程、圧力変動が大幅に減少している。

以上のように、システムティックなスキュードプロペラの性能と強度の調査により、最適なスキューを選ぶシステムを作りあげている。なお、本船の場合はプロペラBを採用した。

3. 新材料MCRSプロペラ

従来のNi Al Bz と新プロペラ材MCRS (Mitsubishi Corrosion Resistance Steel) の化学成分を表2に、機械的性質を表3に示す。MCRS²⁾は炭素量の許容上限を0.08%以下と低く抑え、耐食性を劣化させる

クロム炭化物の析出を防止するとともに、クロム量を18%として海水中での耐食性を飛躍的に向上させたステンレス系プロペラ材である。

MCRS材は次のような特長をもっている。

- (1) Ni Al Bz材に比べ約1.7倍の高い腐食疲労強度を有し、翼厚の薄肉化が可能 (NK船級協会より材料定数 $K=1.6$ を承認取得。Ni Al Bzの $K=1.3$)
- (2) 硬さが高く耐エロージョン性に優れ、小面積、高効率のプロペラ設計が可能 (例: 展開面積比を0.55から0.40にすると、3%前後の効率向上)
- (3) プロペラ重量と慣性モーメントの20~30%軽減により、プロペラ軸、中間軸を含む軸系装置の小形化が可能。

写真1にMCRSプロペラの実船装備状況を示す。

表2 Ni Al Bz とMCRSの化学成分

	Cu	Ni	Al	Fe	Mn	Zn	Si	C	Cr	Mo	Co
NiAlBz	Bal	4.0 ~ 6.0	9.0 ~ 10.0	4.5 ~ 6.0	<1.5	<0.1	—	—	—	—	—
MCRS	—	5.0 ~ 6.5	—	Bal	<3.0	—	<1.5	<0.08	17.0 ~ 19.0	0.5 ~ 2.0	<1.5

表3 Ni Al Bz とMCRSの機械的性質

	0.2%耐力 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)	ブルネル硬さ (HBB)	シャルピー 衝撃値 (kg-m/cm ²)	海水中腐食破れ 強さ $N=2 \times 10^7$ (kg/mm ²)
NiAlBz	25~29	62~72	20~30	160~180	3~5	18
MCRS	25~30	75~100	10~30	200~300	5~10	30

写真1 MCRS材プロペラ
(今治造船(株) Y 280, 5m x 5翼)

4. 製造, 補修技術

4.1 鋳造凝固シミュレーション プロペラ鋳物の健全性を確保するために、鋳造時の凝固速度を電算機でシミュレーション計算し、鑄果の発生を精度よく推定する方法を開発した。この方法は2次元のものであるが、モデル試験および実機試験の温度計測結果をもとに改良を加え、プロペラ鋳造方案に反映している。図6に大形プロペラの鋳造後のある時間における等温度分布を示す。高温部(最終凝固位置)がボス上部の押湯部にある鋳物が健全であることを示している。

4.2 レーザ加工による翼縁ゲージの製作 翼の前縁と後縁形状は、特にキャビテーションとプロペラ単独特性に大きな影響を与える。この点を考慮し、翼縁

級協会の承認取得が無理と思われるが, どうお考えですか.

〔回答〕

1. MCRS機プロペラの船級協会承認取得状況

NK, JG: Ni Al Bz よりも高強度材として承認取得

AB, LR, NV, BV: 現状ではNi Al Bzと同強度材として使用可能

2. MCRS材の伸び10~30%のバラツキについて

実機プロペラのテストピースでは伸び15%以上を確保しています.