PS-19 メガコンテナ船プロペラの改良および

船後キャビテーション試験

輸送高度化研究領域 * 久米 健一、右近 良孝、藤沢 純一、松田 登 ナカシマプロペラ(株) 山崎 正三郎

1.目的

12,000TEU コンテナ船を一軸船として設計する 際、プロペラにどのような問題が生じるかを明ら かにするため、プロペラを設計し、船後キャビテ ーション試験で評価した。設計の目標として、 95MW のエンジンの 85%MCR(連続最大出力の 85%、常用出力、NOR)、さらに 20%シーマージ ンを差し引いた機関出力での計画速力を 26.0kt と し、船尾変動圧力を 6kPa 以下に抑え、エロージョ ンが発生しないものとする。

ここでは、研究の初年度に設計した原船型と原 型プロペラによる試験結果[1]との比較を交えて、 改良船型と改良プロペラによる性能改善の結果を 報告する。

2.供試模型

2.1 船体

研究初年度の試験で使用した原船型 (M.S.No. 732)と二年目に新しく設計した改良船型(M.S.No. 740)の主要目を表1に示す。

2.2 プロペラ

船後キャビテーション試験で使用したプロペラ の主要目を表2に示す。M.P.No.576は初年度に設 計した原型プロペラであり、試験結果は既に報告 されている[1]。M.P.No.577はM.P.No.576をベー スに展開面積比を増加させたもの、M.P.No.589は 今年度新しく設計した NACA 翼断面形状を持つ プロペラである。

3.改良点

初年度の試験結果をふまえ、キャビテーション 発生量と船尾変動圧力を減らすべく、船体とプロ ペラに対し次のような改良を行った。なお、着岸 するバースの仕様と船舶の構造喫水を考慮し、設 計喫水を 14.5m から 13.0m に変更している。 (1)伴流の均一化

図1に示すように、スターンフレームを船首側 へ移動させるとともに、スターンバルブの肥大化 と低重心化を行った。これにより図4の右図に示 すような推定実船伴流分布を得ることができた。 伴流の変動幅を表す Wake Deficit (Δw=Δw_{max}-Δw_{mean})は 0.29 から 0.20 へと改善された。

(2) チップクリアランスの拡大

船体の喫水を浅くしたこともあり、プロペラの 直径を小さくした。また、プロペラ直上の船尾オ ーバーハング部をさらに持ち上げ、さらに、写真 1に示すようにプロペラ直上の船体を若干くぼま せ、トンネル船尾とした。これによりプロペラチ ップクリアランスは初年度に設計した原船型にお ける 0.22D_Pから 0.35 D_Pへと改善された。

表1 船体主要目

	M.S.No.732		M.S.No.740	
	模型船	実船	模型船	実船
$L_{PP}[m]$	6.8800	344.0	7.1667	344.0
B[m]	1.1260	56.3	1.1563	55.5
d[m]	0.2898	14.5	0.2708	13.0

表 2 プロペラ主要目

M.P.No.	576	577	589	
D (D) [m]	10.000	9.600	9.800	
DPS (DPM) [m]	(0.200)	(0.200)	(0.204)	
x _B [-]	0.180	0.180	0.188	
$H/D_P(0.7R)$ [-]	0.930	0.949	0.896	
a _E [-]	0.770	1.000		
Rake angle [deg]	5.	0	-3.0	
Blade	MAU-Mesk		Modified	
section			NACA66	
Number of	6			
blade [-]				



図1 船尾プロファイル



写真1 トンネル船尾

(3) 展開面積比(*a_E*)の拡大

初年度は NOR から 20%シーマージンを差し引 いた機関出力の状態において、バリルのチャート を適用して展開面積比を決定した。今年度は NOR の条件下で行うこととし、より厳しい条件を課し た。直径を小さくしたこともあり *a_E* が 0.77 から 1.00 に増加した。M.P.No.576 と M.P.No.589 の展 開図を図 2 に示す。

また、EHP は減少したにも関わらず、直径が小 さくなったため、プロペラ荷重度は微増となり、 K_T/J^2 で 0.40 であったものが 0.41 となった。

(4) 翼断面形状の変更

キャビテーション発生量の減少を意図し、プロ ペラ設計法を MAU チャート方式から、渦格子法 をベースとする NCP(ノンキャビテーションプロ ペラ)設計法に変更した。最適循環分布を用い、 MAU-Mesk の翼断面から NACA シリーズの翼断 面形状に変更した。翼端でのピッチが小さいピッ チ分布となった。 (5) ハイリースキュード化

非定常キャビテーションの変化を穏やかにする ため、スキューを大きくし、30°とした。

4.キャビテーション試験状態

プロペラの設計は、NOR の条件下で行ったが、 キャビテーションの評価は MCR および NOR の 条件で実施した。各試験状態における各種パラメ ータの数値を表3に示す。キャビテーション数のN はプロペラ軸心上方 0.8R の位置で実船と一致さ せている。

5.試験結果

5.1 POT

表 2 に示す 3 つのプロペラの POT 結果を図 3 に示す。M.P.No.589 の設計点は *J*=0.64 であるが、 *J*=0.70 を超えると効率が低下し、フェイスマージ ンがやや少ないプロペラであると言える。

5.2 推定実船伴流分布

曳航水槽で計測された模型船伴流分布を、笹 島・田中の方法[4,5]で変形し、推定実船伴流分布

表 3 試験状態表

	状態(1)	状態(2)
機関出力	MCR	NOR
積載状態	Full Load	Ballast
シーマージン	20%	20%
BHP [MW(PS)]	95.0(129,105)	80.7(109,739)
K _T [-]	0.1718	0.1840
K_T/J^2 [-]	0.4148	0.4785
N [rpm]	107.7	100.2
$\sigma_{N_0.8R}$	0.884	0.801



図2 展開図



を得た。これを図4に示す。模型船伴流のポテン シャル成分を得るにはヘス・スミス法計算を使用 した。また、粘性成分の変形においては、プロペ ラの上半分は水平方向に、下半分は半径方向に縮 尺するという方法を用いた。

5.3 再現伴流分布

キャビテーション試験を推定実船伴流中で実施 するため、水槽の計測部内に模型船とフローライ ナーを設置し、図4右図を目標として推定実船伴 流分布を再現した。計測結果を図5に示す。伴流 のピークや変動幅、形状も良く再現されている。 5.4 キャビテーションパターン

M.P.No.576 と M.P.No.589 のキャビテーションの様子を写真 2 に示す。第 3 節で述べたような改良を行った結果、キャビテーションの発生量は格段に減少していることが分かる。また、目視観察においても、キャビテーションの変化の様相が緩やかになっている様子が捉えられ、改善の度合いが見て取れた。

5.5.船尾変動圧力

船体とプロペラの改良前後の船尾変動圧力の 比較を図6に示す。最大値で約14kPaあった翼 数一次成分は M.P.No.589 の場合に 6.2kPa と 格段に軽減され、許容値上限とされる6kPaに 近い値を得た。二次成分と三次成分が倍増する 結果となっているが、絶対量が小さいため問題 にはならないと考えられる。また、NOR のバ ラスト状態における船尾変動圧力を図7に示す が、MCR の満載状態との差異はほとんど見られない。

5.6.エロージョン試験

翼表面に「アオタック」ペイントを塗布し、 試験状態(1)のキャビテーションの発生した 状態で約1時間放置したが、ペイントの剥離は



(M.S.No.732) 図 4

推定実船伴流分布



図 5 改良船型の推定実船伴流分布と 再現伴流分布の比較(M.S.No.740)



原型プロペラ (M.P.No.576)

改良プロペラ (M.P.No.589)

写真 2 キャビテーションの比較 (Θ=20deg)

見られなかった。つまりエロージョン発生の可 能性はないと予想される結果が得られた。しか し、実機プロペラと模型プロペラの縮尺比が 48:1と大きいため、翼端速度の差も大きい。実 機プロペラにおいて必ずしもエロージョンが 起きないとは言い切れないため、より信頼度の 高いエロージョン予測法を確立する必要があ る。

6.まとめ

研究初年度に行った船後キャビテーション 試験結果からは、14kPaという許容値の倍以上 に及ぶ非常に大きな船尾変動圧力が実船にお いて発生すると予想され、12,000TEU メガコ ンテナ船は成立しえないレベルにあった。

二年目は、伴流分布の均一化を意図した船型 改良やプロペラチップクリアランスを増加さ せるためのトンネル型船尾を採用する一方、新 しく開発したプロペラ設計法を用い、プロペラ の展開面積比の拡大やハイリースキュード化、 翼断面形状の変更などにより、キャビテーショ ンの発生を抑えた結果、船尾変動圧力を約 6kPa にまで下げることができ、船体振動の観 点からの許容値近くまで抑えることができた。

引き続き、キャビテーションパターンの改善 と馬力低減を目指し、船体とプロペラの改良を 実施する。

参考文献

- [1] 久米健一他:メガ・コンテナ船のキャビテ ーション試験の一例,平成16年度海上技術 安全研究所発表会講演集,2004.
- [2] 右近良孝:メガコンテナ船プロペラの流体 力学上の問題,平成16年度海上技術安全研 究所発表会講演集,2004.
- [3] 右近良孝:船尾変動圧力の推定に関する研究,船舶技術研究所報告,第28巻第4号, 1991.
- [4] 笹島秀雄他:肥大船の伴流分布,造船協会 論文集,第120号,1966.
- [5] Tanaka,I.: Scale Effects on Wake Distribution of Ships with Bilge Vortices, Journal of The Society of Naval Architects of Japan, vol.154, 1983.

[6] 加藤洋治:『キャビテーション 基礎と最近 の進歩』槇書店, 1999.



図6 プロペラ毎の船尾変動圧力の比較 (上段:翼数-次成分、中:二次成分、下:三次成分)



図7 船尾変動圧力の載荷状態による変化 (上段:翼数-次成分、中:二次成分、下:三次成分)