

# ダクト効果を有する非対称断面ツイン舵船型の開発

(第5報 ゲートラダーのキャビテーション性能の検討)

正会員 栗林 定友\*1 松坂 武彦\*1  
 浅海 宣博\*2 武田 俊文\*2  
 黒河 保\*2  
 正会員 深澤 正樹\*3 柳泉 博之\*3  
 河野 高樹\*4 野中 孝夫\*4  
 正会員 佐々木紀幸\*5

## The New Hull Form with Twin Rudders Utilizing Duct Effects (5th Report)

by Sadatomo Kuribayashi, *Member* Takehiko Matsuzaka  
 Nobuhiro Asaumi Toshifumi Takeda  
 Tamotsu Kurokawa  
 Masaki Fukazawa, *Member* Hiroyuki Yanaizumi  
 Takaki Kawano Takao Nonaka  
 Noriyuki Sasaki, *Member*

**Key Words:** *Twin Rudder, Gate Rudder, Duct Effect, Cavitation*

### 1. 緒 言

プロペラ起振力による船尾振動は、疲労による構造部材の劣化を誘発し船の安全を脅かすだけでなく、船内騒音を増加させ労働環境の悪化にもつながる。さらに、総トン数1600トン以上の新造船には、改正された船内騒音コード<sup>1)</sup>に関するSOLAS条約が2014年7月から適用されるため、より厳しい騒音基準値を満たす必要が生じている。このような状況の中、新造船は燃費指標であるEEDI (Energy Efficiency Design Index) を満たす推進システムは、同時に振動や騒音も低減できることが理想的と言える。

ここで紹介する新型舵<sup>2)3)4)5)</sup>(以下、ゲートラダーと呼ぶ)は、プロペラ面の流場を大きく改善する可能性があることから、プロペラ起振力増幅の原因であるキャビテーションを抑制し、プロペラに起因する振動や騒音を低減する可能性が大きい。本論文では、ニューキャッスル大学が所有するキャビテーション水槽を利用して、ゲートラダーのプロペラキャビテーション性能への影響を調査し、船尾振動及び騒音の低減効果を考察する。

### 2. ゲートラダーのキャビテーション低減効果

#### 2.1 検討の概要

これまでの研究成果から、ゲートラダーは、そのダクト効果によりプロペラ面の流場を大きく加速し、その量は平均して20-30%に達することが判明している。それに対して、通常舵は、その前方にポテンシャル伴流を形成しプロペラ面の流速を減速し、その量は、プロペラ面全体で5%程度の値となることから、そのピーク値は船体中心線上に20%以上に達するものと推察される。これら、2つの舵がプロペラ面の伴流分布に与える影響は、このように大きく異なることから、プロペラに発生

するキャビテーションにも顕著な違いが生じる。

キャビテーションの発生範囲を把握するには、キャビテーション水槽を利用したキャビテーション試験と、理論計算を用いた推定の2通りがあるが、通常は、種々の設定条件を変更できる理論計算で広範囲の調査を行い、最終的に実機に近い条件で、キャビテーション試験を実施し、プロペラに発生するキャビテーションを確認するという方法が取られる。

ここでも、同様な手法で検討を進めるが、実施した検討項目を整理してTable 1に示した。

Table 1 Scope of study of propeller cavitation with rudder

	propeller	rudder	wake distribution
Theoretical	original	w/o	uniform
Theoretical	MP161	Conv.	Simulated wake
Theoretical	MP161	Gate R.	Simulated wake
Theoretical	Full scale	Conv.	Predicted by CFD
Theoretical	Full scale	Gate R.	Predicted by CFD
Model test	MP161	Conv.	Simulated wake
Model test	MP161	Gate R.	Simulated wake

Table 2 Propeller dimensions

	Full scale	MP161
Diameter m	3.30	0.25
Pitch Ratio	0.835	0.900
Exp. Area Ratio	0.513	0.560
Boss ratio	0.273	0.278

\*1 栗林商船株式会社  
 \*2 山中造船株式会社  
 \*3 かもめプロペラ株式会社  
 \*4 東京計器株式会社  
 \*5 Newcastle University, Newcastle Upon Tyne, UK

実船サイズの実機プロペラとMP161のプロペラ要目を比較して Table 2 に示した. ここでMP161は, 実機に近いCPPで, キャビテーション試験に用いた供試プロペラである

## 2. 2 プロペラ面伴流分布に及ぼす舵の影響

プロペラに発生するキャビテーションの理論計算は, プロペラ面に生じる有効伴流の分布を入力して実施される. この有効伴流の分布は, 直接計測ができないこともあり, 実際には公称伴流分布を修正して入力データとすることが多い. ただし, 粘性影響を考慮できるCFD計算においては, この有効伴流は計算の中に含まれるので, 計算精度の問題は別にして特別の工夫は不要となる.

本論文では, プロペラの半径  $r/R$ , 回転角  $\theta$  における舵によるポテンシャル伴流  $w_{RP}$  を求めるために, 舵の速度ポテンシャルを次式で与え, 数値計算を中武の方法<sup>6)</sup>で実施する.

$$w_{RP}\left(\frac{r}{R}, \theta\right) = \frac{\phi_R}{\partial x} \dots (1)$$

$$\phi_R = \phi_{RL} + \phi_{RT} \dots (2)$$

ここで,  $\phi_{RL}$  は舵の厚翼として揚力成分の寄与,  $\phi_{RT}$  は舵の厚さによる寄与であり, それぞれ次式で与える.

$$\phi_{RL} = \frac{1}{4\pi} \int_{y_l}^{y_u} dy' \int_{-1}^1 \gamma(y', u') \frac{z}{(y-y')^2 + z^2} \left(1 + \frac{x-x_M - x_B u'}{R_1}\right) du' \dots (3)$$

$$\phi_{RT} = \frac{1}{4\pi} \int_{y_l}^{y_u} V_{RX}(y') x_B dy' \int_{-1}^1 \sigma(y', u') \frac{1}{R_1} du' \dots (4)$$

$$R_1^2 = (x-x_M - x_B u')^2 + (y-y')^2 + z^2 \dots (5)$$

ただし, プロペラ中心を座標の原点とし, 船長方向を  $x$ , WL方向を  $y$ , 船の幅方向を  $z$  とする船体固定座標において,  $y_u, y_l$  は舵の上面および下面の高さ,  $x_B$  は舵の半弦長,  $V_{RX}(y')$  は舵面の流速分布,  $\sigma(y', u')$  は舵の厚さを表す舵中心面に分布させた吹き出し分布,  $\gamma(y', u')$  は, 舵中心面に分布させた渦分布である. これらの解法については, 文献<sup>4)</sup>に詳しく紹介されているので, ここでは省略する.

プロペラ面に, 舵のポテンシャル伴流を重ね合わせて通常舵の場合のプロペラキャビテーションを検討する. ここでMP61は, 実機に近いCPPで, キャビテーション試験に用いた供試プロペラであることが可能である.

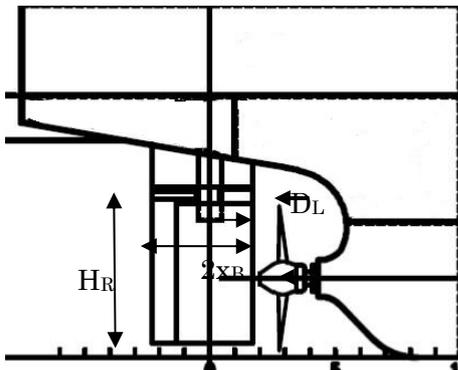


Fig.1 Stern arrangement of a container ship

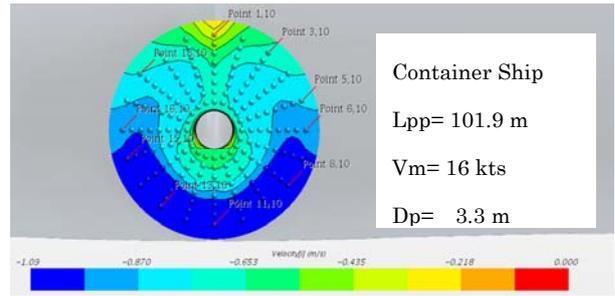


Fig.2 Wake distribution at propeller plane

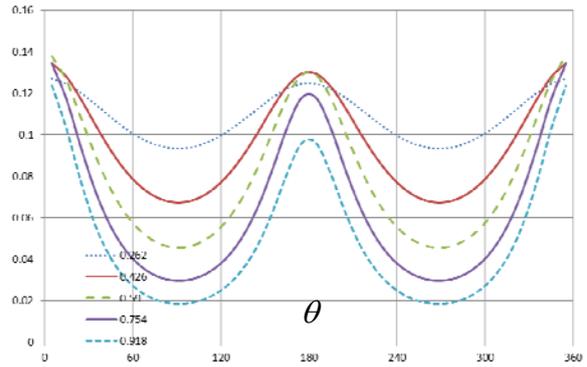


Fig.3 Rudder potential wake

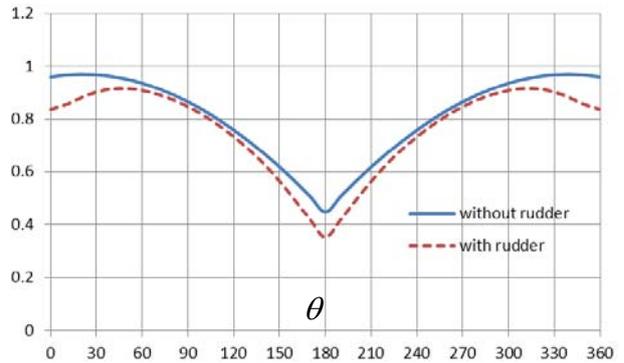


Fig.4 Effect of rudder on a wake at propeller plane

舵によるプロペラ面の伴流は, Fig. 4に示されるように0度 (Bottom) と180度 (Top) 付近に生じるため, キャビテーションの発生が助長される傾向にある. 特に180度が生じる伴流は, 船体に近く, また, そのピーク値も伴流分布の傾斜も高めるため, より非定常なキャビテーションが発生し, 振動や騒音へ悪影響を与える.

Fig. 1に, 計算の対象とするコンテナ船の船尾形状を示した. プロペラはCPP, 舵はフラップ舵である. Fig. 2からFig. 4に通常舵によるプロペラ伴流への影響を示す. すなわち, Fig. 2は, CFD計算で得られたプロペラの伴流分布を, Fig. 3は, 前述の計算に基づく舵ポテンシャル伴流分布, Fig. 4に舵の有無による半径  $r/R=0.921$  における伴流分布の違いを示した.

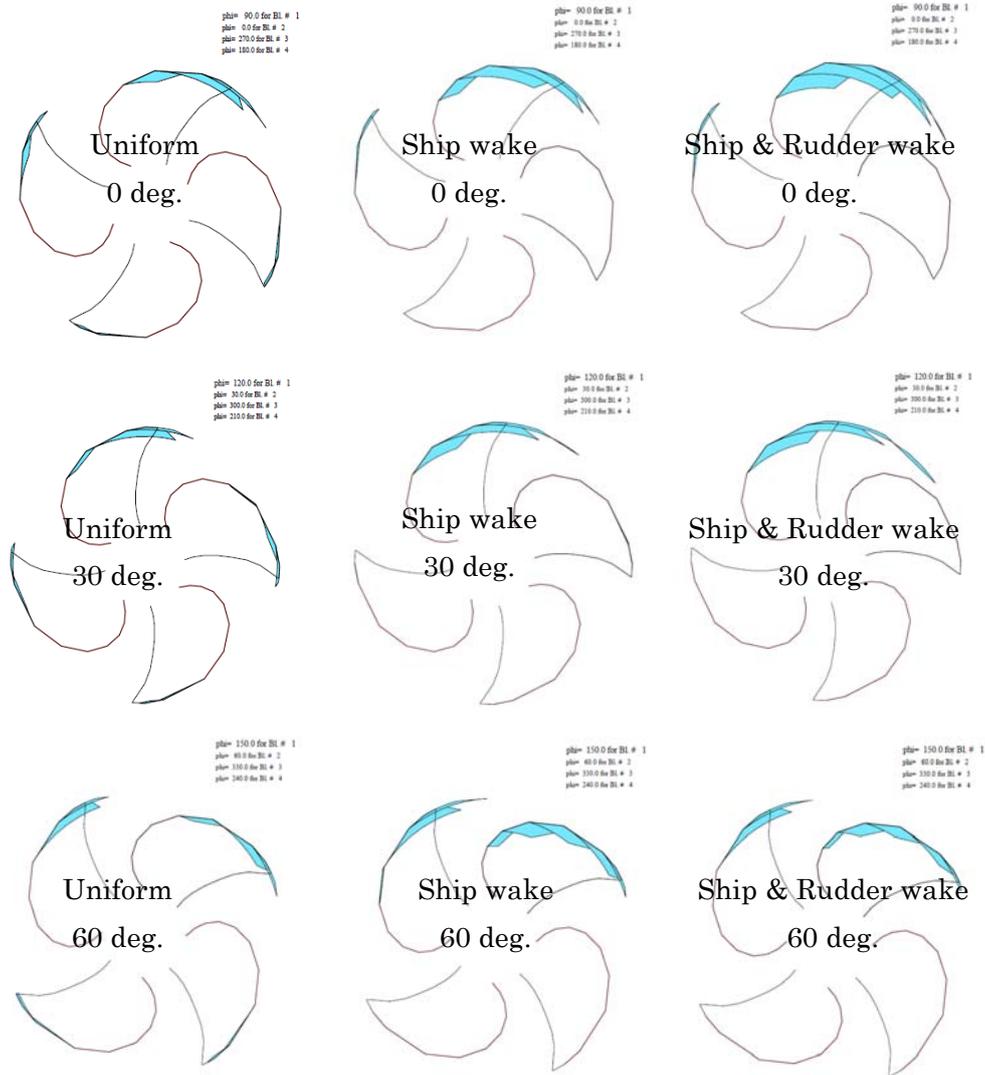


Fig. 5 Predicted cavitation extents for uniform wake(left), ship wake (middle) and ship and rudder wake (right)

Fig. 5 に、理論計算によるキャビテーション発生範囲の比較を示す。この結果から、船体や舵が作る伴流が、プロペラのキャビテーションの発生を増幅している様子が推察できる。

### 2. 3 ゲートラダーのプロペラ流場改善効果

ゲートラダーは、通常舵のようにプロペラ面の船体中心線上に現れるキャビテーションを助長する伴流を形成しないばかりか、そのダクト効果によりプロペラ面全体の均一化に寄与すると予想される。

ゲートラダーの場合、舵に流入する流場は、2つの成分があり、一つはプロペラ無しの場合に生じる船体伴流、もう一つはプロペラの作動による船体伴流の変形と縮流の影響である。ゲートラダーのプロペラ面への影響を検討するには、幾つかの方法が考えられるが、ここでは、実施予定のキャビテーション試験による比較の前に、その影響が大きいと考えられる舵厚さによる速度ポテンシャルを利用した計算法を利用する。

Fig. 6 に先に示した条件下におけるプロペラ面のゲートラダーの厚さによる軸方向  $V_x$  と周方向  $V_T$  の誘導速度の計算結果を示した。

キャビテーション上、重要なパラメタである舵による迎角変化は、近似的に次式で求めることができる。

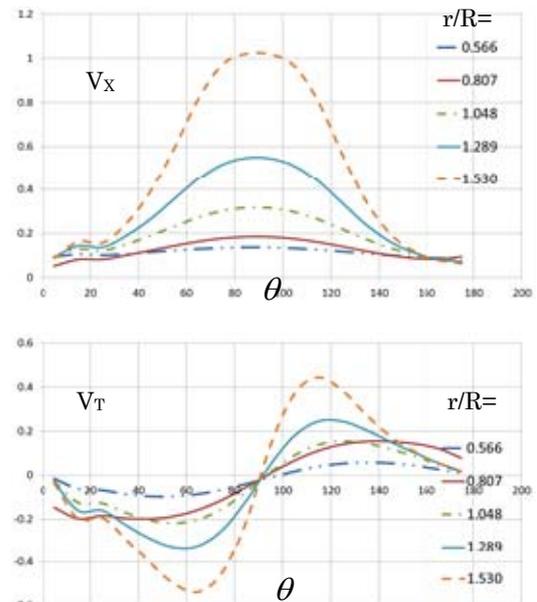


Fig.6 Induced velocity of thickness of Gate Rudder

$$\Delta\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{Va + \Delta V_x}{2\pi rn + \Delta V_T}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{Va}{2\pi rn}\right) \dots (6)$$

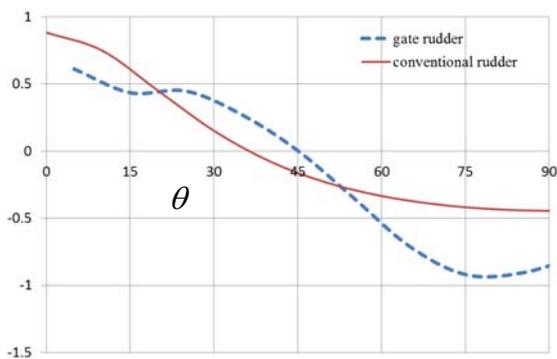


Fig. 7 Effect of two different rudder systems on propeller cavitation

ここで、 $Va$ 、 $n$ は、それぞれプロペラ前進速度と回転数(rps)である。通常舵の $\Delta\alpha$ は、 $\Delta V_T$ には殆ど変化が無いが、 $\Delta V_x$ が負の値となるので $\Delta\alpha$ も負の値を取る。一方、ゲートラダーの場合は、 $\Delta V_x$ 、 $\Delta V_T$ の両方が影響を受ける。2つの舵に対する $\Delta\alpha$ の違いをFig. 7に示した。

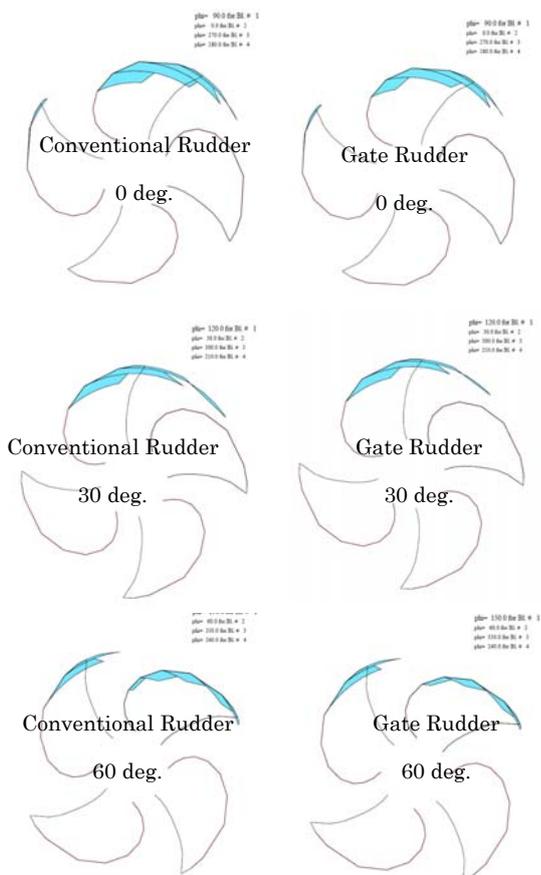


Fig. 8 Effect of Gate Rudder on propeller cavitation

Fig. 7から見てくるのは、通常舵では、成長したキャビテーションが翼角0度から30度の間で、0.9度から0.2度へと大きく変化する迎角が、ゲートラダーでは約0.5度の一定値を取り、キャビテーションの安定に寄与し、その変動によって発生する変動圧力を軽減するであろうという事実である。

船体から遠い場所にある通常舵とは異なり、ゲートラダーの場合、実際にはその存在によっても船体の伴流も変形し、先の水槽試験では、ここでも均一化の効果が見られる。したが、CFD等により粘性伴流の変化も捉えた上で、キャビテーションへの影響を考察すべき問題と考えるのが妥当であるが、本論文では前述したゲート舵とプロペラ間の干渉についてだけ言及した。

### 3. キャビテーション試験

振動および騒音の計測を目的とするキャビテーション試験は、移転後のニューキャッスル大学の Emerson Cavitation Tankにおいて実施予定であり、Table 2に示した模型プロペラを用いて、Fig. 9示すプロペラ単独試験機を通常とは逆にセッティングする。またプロペラボートの翼型垂直部後方に人工的な荒さを塗布することで船体中心線上に現れる伴流のピークを模擬して舵との干渉で変化するプロペラキャビテーションを調査する。その結果の紹介は、後日に譲るが、試験における模型舵とプロペラの配置図をFig. 10に示した。

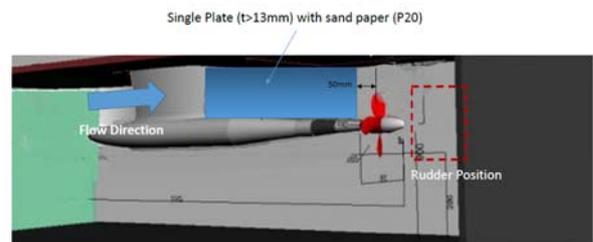


Fig.9 Measurement system of propeller cavitation with rudder(s)

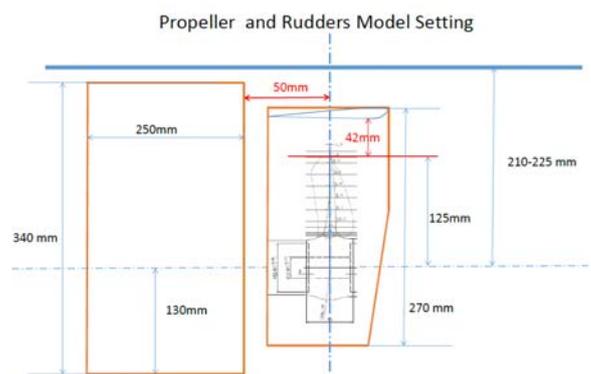


Fig.10 Propeller and rudder model settings

### 参考文献

- 1) 船内騒音コードの概要並びにNKの取り組み, 2015, 7月, Class NK資料
- 2)-5) 栗林 定友他:ダクト効果を有する非対称断面ツイン舵船型の開発(第1-4報), JASNAOE講演会論文集, 第22, 23, 24, 26号, 2016-2017
- 6) 中武一明, 自航推進性能の計算法, 船型設計のための抵抗推進理論シンポジウム, 1979