

ダクト効果を有する非対称断面ツイン舵船型の開発 (第2報)

正会員 栗林 定友*
浅海 宣博**
正会員 深澤 正樹***
正会員 佐々木紀幸****

松坂 武彦*
武田 俊文**
柳泉 博之***

The New Hull Form with Twin Rudders Utilizing Duct Effects (2nd Report)

by Sadatomo Kuribayashi, *Member* Takehiko Matsuzaka
Nobuhiro Asaumi Toshifumi Takeda
Masaki Fukazawa, *Member* Hiroyuki Yanaizumi
Noriyuki Sasaki, *Member*

Key Words: *Twin Rudder, Gate Rudder, Duct Effect, ESD, Maneuverability*

1. 緒 言

船舶の省エネ装置の中で主として船尾に取り付ける省エネ装置は、これまでもさまざまな形態が開発されてきたが、それらのほとんどが原理的には既存の省エネ装置の延長上にあると言ってもよい。一方、ここで述べるダクト効果を利用する非対称ツイン舵船型は、従来の舵を2分割し、プロペラの前後では無く、その両側に配置させ、かつ非対称断面とすることで舵に大きな推力を発生させ、省エネ効果を得ようとする新しい発想に基づいている。

第1報においては、主として、この非対称断面をもつツイン舵の省エネ効果に関わる実験研究成果を紹介したが、第2報においては、この新型舵の設計法および経済性の評価結果を紹介する。設計法においては、実験にて得られた舵流体力を、設計時に計算される推定値と比較することで、著者達が用いた設計法の有効性を証明する。

2. 非対称断面ツイン舵の設計

2.1 最適形状の考え方

ダクトプロペラと違い、本舵は本船の操縦性能を損なわず高効率な推進システムとして効果を発揮する必要がある。特に第1報で述べたように、低速時に十分な操船能力を必要とする内航船に対しては特別な配慮が必要である。低速時においては船速による大きな流体力が期待できないため、一般的にはプロペラの噴流を利用した操舵が利用されるが、この条件は本新型舵についても同様であるため、第1報では舵軸と舵面の位置が大きく異なるゲート型舵を紹介した。ここでも、その設計思想を踏襲し Fig.1 に示すゲート型舵（以下、ゲートラダーと称す）を対象にした最適設計法を検討する。



Fig. 1 Ship Model with "Gate Rudder"

2.2 舵高さおよび舵長さ

一般に舵面積は、操船に必要な最小面積が採用されるが、ゲートラダーの舵面積に対するその第一次近似は、通常舵の面積の半分の面積を両舷の舵に採用するというアイデアであろう。この時、注意を要するのは、舵高さの決定法である。舵高さは、舵の設計強度に大きく影響するだけでなく、舵のダクト効果にも影響を与えるので、慎重に検討する必要があるが、従来舵より10~30%短い舵が結果的に良い結果を与えるようである。次にプロペラとの干渉を考え、ダクト効果を発揮する最適な長さを検討し、第一次近似で決定した舵長さより、それが小さければ、第一次近似で決めた舵長さを採用、もし、逆にさらに弦長の長い舵が必要とされた場合には、推進効率を詳細に検討し、第一次近似で決定した舵よりさらに長い舵を採用する。

2.3 舵断面形状

このようにして決定した舵の側面形状を用いて、次に舵断面形状の最適化を実施するが、ダクトプロペラのダクトとは異なり、ゲートラダーの場合は舵への流入角度が高さ方向に大きく変化するので、まずは、その速度と方向を正確に推定する必要がある。幸い、ゲートラダー

* 栗林商船株式会社

** 山中造船株式会社

*** かもめプロペラ株式会社

**** Newcastle University, Newcastle Upon Tyne, UK
秋季講演会において講演（学会にて記入します）

の位置する場所は、プロペラの外側に位置するため、複雑な3次元縦渦の影響がそれほど大きくないと考えられ、近年、発達の著しいNSソルバーを用いたCFDなどを利用すれば比較的、正確に求めることができる。また、初期段階においては、HESS&SMITH法などのポテンシャル計算によってもある程度の精度が確保できるものと思われる。

高さ方向の流向と速度が分かると、渦格子法などの3次元翼理論による計算法を用いて舵による揚力と抗力を求めることが可能となる。設計においては、解析的な方法よりも先にある程度の迎角を2次元的に考慮した舵断面形状を用意して、その計算結果を見ながら修正した方が感覚的に分かりやすい。また、第1報で述べたように必ずしも大きな推力を発生する舵形状が推進効率上、最適とはならないので、推進効率まで考慮できる複雑な理論が構築されない限り解析理論に基づく舵設計法はいまのところ必要性は低いと考えられる。

Fig. 2に、これまで述べた設計法をフロー図にして示した。

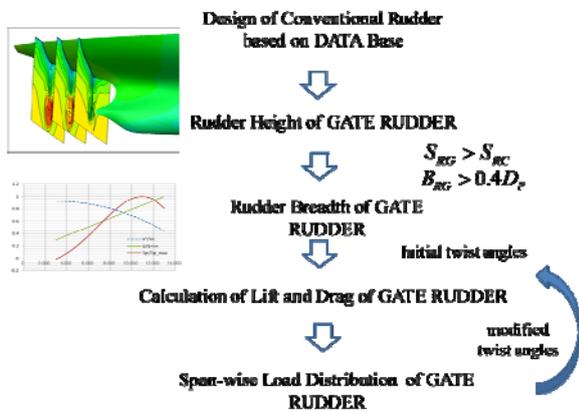


Fig. 2 Design Flow of "GATE RUDDER"

2.4 簡易計算による舵推力計算

設計の初期段階においては、水槽実験と比較するために、簡易的に3次元影響を考慮した次式によるゲートラダーの推力 T_{GR} の計算が効果的と思われる。

$$T_{GR} = \int_{b_{im}}^{top} (L(z) \cos \psi(z) dz - Z(z) \sin \psi(z) dz) - R_{SFT} \dots (1)$$

ここで、 R_{SFT} は模型実験の条件にもよるが、通常は舵の最適角を求めるため舵角が簡単に変更できるような舵の上端と船体との間の舵軸が露出している場合があり、その抵抗を考慮したものである。ゲートラダーの場合は、舵軸が船体中央に無いため、通常舵に比べ舵軸抵抗が大きく模型試験時には注意が必要である。LとDは、それぞれ揚力と抗力を意味し船体キールからの高さzの関数として(1)から(5)式により計算する。

V_x, V_y, c, ψ は、それぞれ船尾におけるx, y方向の流速、舵の弦長および舵のノーズテールラインに対する流向である。ここで、模型舵における揚力係数 (C_L) と抗力係数 (C_D) は、舵のアスペクト比 λ 、ゼロ揚力角 α_0 、舵厚さ t および揚力勾配減少係数 κ を用いて(6)から(8)式

で計算する。

$$L(z) = \frac{1}{2} \rho V^{*2} * C_L(z) * c(z) \dots (2)$$

$$D(z) = \frac{1}{2} \rho V^{*2} * C_D(z) * c(z) \dots (3)$$

$$V^* = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} \dots \dots \dots (4)$$

$$\psi = \tan^{-1} \left(\frac{V_y}{V_x} \right) \dots \dots \dots (5)$$

$$C_L(z) = 2\pi \sin(\psi - \alpha_0) \frac{\lambda}{2.2 + \lambda} \dots (6)$$

$$C_D(z) = 2 * C_F * \left(1 + \frac{t(z)}{c(z)} \right) + \left(\frac{t(z)}{c(z)} \right)^2 + C_{Di} \dots (7)$$

$$C_{Di} = \kappa \frac{C_L^2}{\pi \lambda} \dots \dots \dots (8)$$

なお、ここで誘導抗力 C_{Di} を導入しているため、ここで3次元影響を簡易的に考慮しているとも言える。

一方、水槽試験において、船体固定の検力計を用いることが多く、その場合は船体座標の F_{RX}, F_{RY} を実験値と比較することになるので、その場合は(9)、(10)式となる

$$F_{RX}(z) = L(z) \cos \psi(z) - D(z) \sin \psi(z) \dots (9)$$

$$F_{RY}(z) = L(z) \sin \psi(z) + D(z) \cos \psi(z) \dots (10)$$

本計算法による結果(実線)を第1報で示した実験値と比較しFig.3に示す。ここで、 N は舵に働くモーメントを表している。

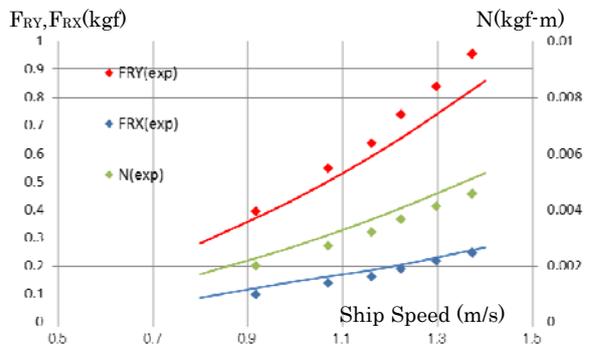


Fig. 3 Calculations (solid lines) and Experiments

Fig. 3から、3次元翼の補正を考慮した2次元翼の計算法を用いてもゲートラダーに働く流体力がほぼ定量的に把握できると判断できる。

したが、設計の初期段階においては、このような計算法を用いて最適化し、その結果を水槽実験で確認しながらゲートラダーを最適化していくのが現段階では効果的と考えられる。

参考文献

- 1) 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報), JASNAOE 講演会論文集, 第19号 2014, pp. 181-184