



また、このような思想で設計されたゲートラダー船型 (Lpp\*B\*d=300m\*65m\*17.9m) の6m 大型模型による水槽試験を海上技術安全研究所第2水槽 (400m\*18m\*8m) で実施し、そこで得られた舵推力の計測例を Fig. 1 に示した。

ここでは舵は抵抗ではなく、推力を発生していることに注目する必要がある。その量は、船体抵抗の5~6%にも達する。従来の方法を用いた馬力計算結果では、この抵抗低減量がほぼ省エネ量に相当していることも興味深い。

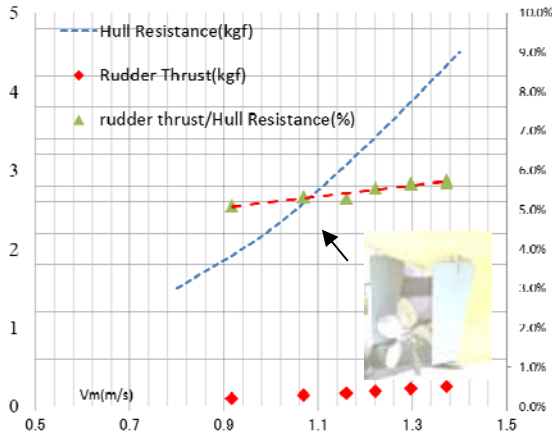


Fig. 1 Rudder Thrust Obtained from a Gate Rudder System (measured with a 6m model at 400m towing tank of NMRI)

### 3.2 499型内航船のゲートラダー適用例

#### (1) 内航船用ゲートラダーの設計方針

比較的痩せ型で設計フルード数が高い499型内航船に対してゲートラダーの適用性を調査した。船型主要目等をTable 2に示す。大型肥大船用のゲートラダーと異なり内航船は離着岸時の操縦性（横移動）が重要になるので、ゲートラダーの形状も舵軸と舵板がオフセットした設計とした。この方が舵位置をプロペラ後流に入れやすくなるからである。

Table 2 Principal Dimensions of 499 type Cargo Liner

|                                     | Conventional (Flap Rudder) | Gate Rudder |
|-------------------------------------|----------------------------|-------------|
| Design Speed (kts)                  | 12.3                       |             |
| Design Froude Number                | 0.24                       |             |
| Lpp(m)                              | 68.6                       | 67.6*       |
| B(m)                                | 12                         |             |
| D(m)                                | 7.17                       |             |
| d(m)                                | 4.19                       |             |
| M/E MCR(kW)                         | 1177                       | 1130        |
| Prop. Diameter (m)                  | 2.4                        |             |
| Rudder Proj. Area (m <sup>2</sup> ) | 4.61                       | 4.33        |

Fig. 2に内航船用に設計されたゲートラダーの側面および正面形状を示した。より大きなダクト効果や離着岸時の横移動を容易にするため、正面形状に工夫がなされている。

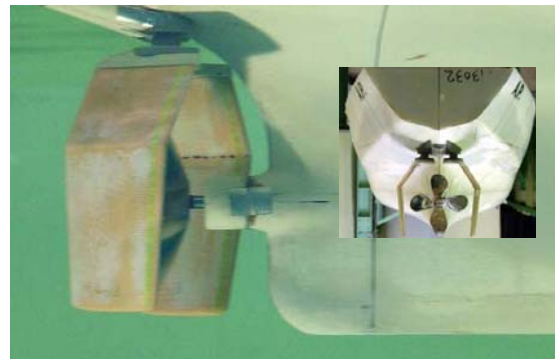


Fig.2 New Gate Rudder Design for Inland Cargo Liner

#### (2) 水槽試験概要

内航船の場合、コスト的な制約もあり、回流水槽を用いて水槽実験を実施する機会が多く、水槽実験を実施しないで建造に至るケースも多々見受けられる。本船の場合、母型船の船型改良が長期にわたって回流水槽で実施されていたことから、データの連続性も考慮し、小型の2m模型を用いて抵抗自航試験のみならず、自航時の舵力計測、直進時操舵試験、低速操舵時の船体横力計測、ゲートラダー有り無しにおける伴流計測および流れの可視化試験など広範囲な水槽試験を実施した。Table 3に実施した水槽試験の一覧(x: conducted)を示す。

Table3 Model Tests of 499 type Cargo Liner at FEL

| Kind of test             | Prop. | Conv. rudder   | Gate rudder      |
|--------------------------|-------|----------------|------------------|
| resistance               |       | x              | x                |
| propulsion               | x     | x              | x                |
| rudder forces and moment | x     | x<br>-60~60deg | x<br>-60.~120deg |
| birthing performance     | x     | x              | x                |
| wake measurement         |       |                | x<br>with & w/o  |

#### (3) 乱流促進

本試験におけるレイノルズ数は3~5x10<sup>4</sup>と考えられ、回流水槽の乱れを考慮しても、境界層外にある舵表面の流れは層流状態となる。層流状態における厚翼は大迎角で層流剥離を容易に引き起こし、急激な抵抗増加と揚力の喪失（失速）に至る。これを防止するために、Fig. 3に示す乱流促進装置を用いた。

本装置を装備することで、装置自体の固有抵抗が生じ、推進効率上は層流剥離の発生しない大型模型に比べて不利となるものの、大迎角における大幅な性能悪化はかなり防げると考える。なお、本装置は西日本流体技研殿の提案によることを付記する。

#### (4) 抵抗自航試験

回流水槽による抵抗自航試験の手順や解析は、独自のプラクティスを持つ。本試験を実施した西日本流体技研においても、一度6m模型の水槽試験結果に換算し、そこから実船推定を実施するといった独自の方法を用いている。本試験においても同様な手順で馬力計算を行ったが、やはり従来舵を装備した水槽試験結果との相対比較

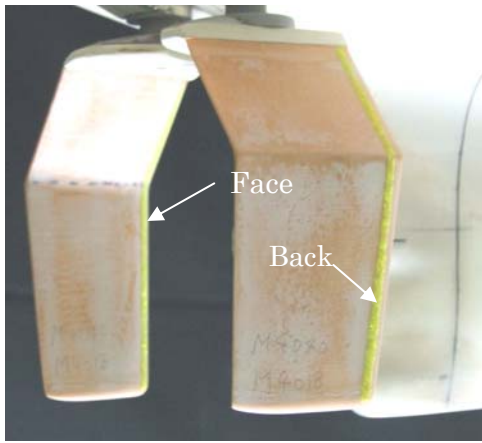


Fig.3 Turbulent Stimulator on Gate Rudder Model

に重点を置き、原型の試験を何度も実施し確認した。

Fig. 4 に抵抗試験から算出された EHP, Fig. 5 に自航試験結果の通常舵との比較を示す。

抵抗試験から得られた EHP は、ゲートラダーの舵抵抗の増加が形状抵抗係数の増加をももたらしたものであるが、高速になればなるほど、両者の抵抗値は近づく傾向があり、ゲートラダーの舵抵抗が過大に評価されていることを示唆している。これは、大型ゲートラダー模型においては、曳航状態においても舵推力が舵抵抗の増加を上回り、形状影響係数が通常舵より小さくなった事実からも、小型模型固有の問題点と言える。したがって、ITTC など推奨されている付加物の抵抗修正式により、比較的容易に修正が可能ではあるが、今回の解析においては、回流水槽のプラクティスを重視し、修正を施していない。すなわちゲートラダーにより増加した形状抵抗係数をそのまま用いた馬力推定とした。これは、実船では、水槽試験結果よりも好結果が期待できる含みを残したとも考えている。

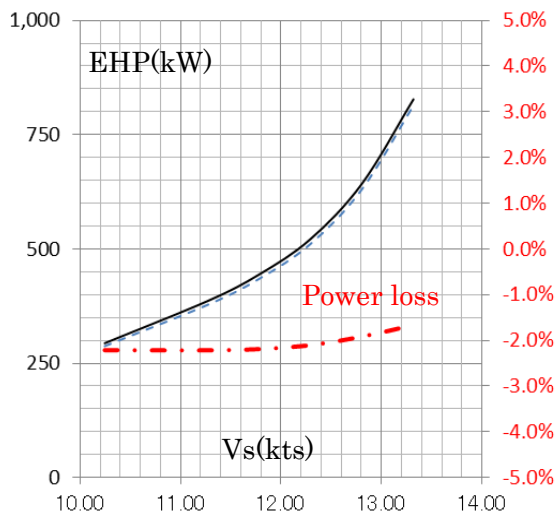


Fig.4 Comparison of Effective Horse Power (Conventional; dotted, Gate Rudder; solid)

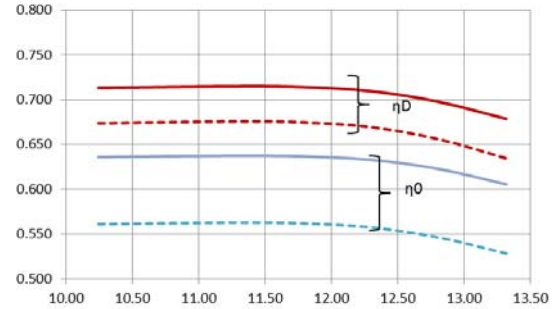
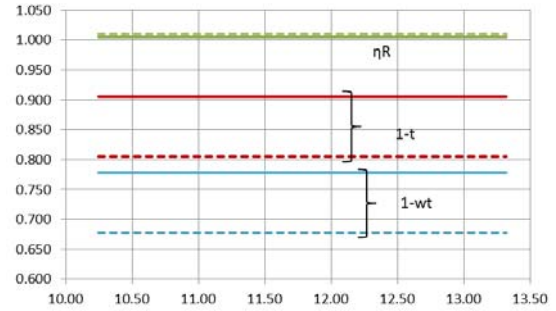


Fig.5 Propulsive Coefficients and Calculated Propulsive Efficiency ( Conventional; dotted, Gate Rudder; solid)

自航試験結果は、大型模型試験同様に、推力減少係数と伴流係数の顕著な変化が見られる。どちらもゲートラダーのダクト効果によるものであることは、後述するゲートラダー内部の伴流計測結果からも明らかであろう。

Fig. 6 に馬力計算結果を示す。自航要素の大幅な改善により 3.5~5%の燃費改善になっているが、高速になるほど改善量が増加しているのはやはりゲートラダー模型のレイノルズ影響が考えられ、実船での省エネ効果はもう少し大きいのではないかと推察している。

### (5) 操縦性能

ゲートラダー船の操縦性は、航海中は通常舵よりも優れるものの、低速時はプロペラ後流を十分に利用できない欠点があった。しかし、今回開発した内航船用ゲートラダーは、Fig. 7 に示される種々の操舵モードの利用が考え

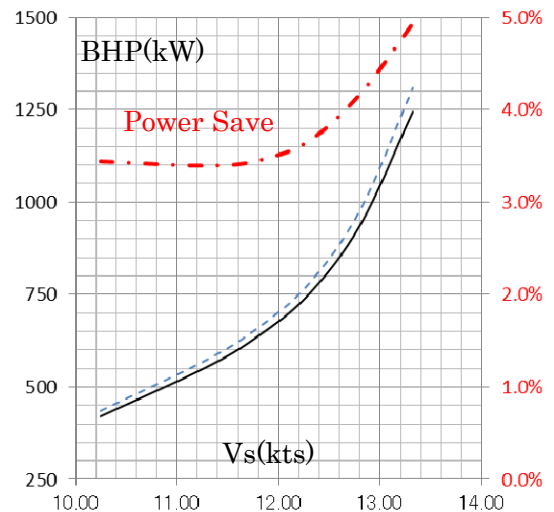


Fig.6 Comparison of Braked Horse Power (Conventional; dotted, Gate Rudder; solid)

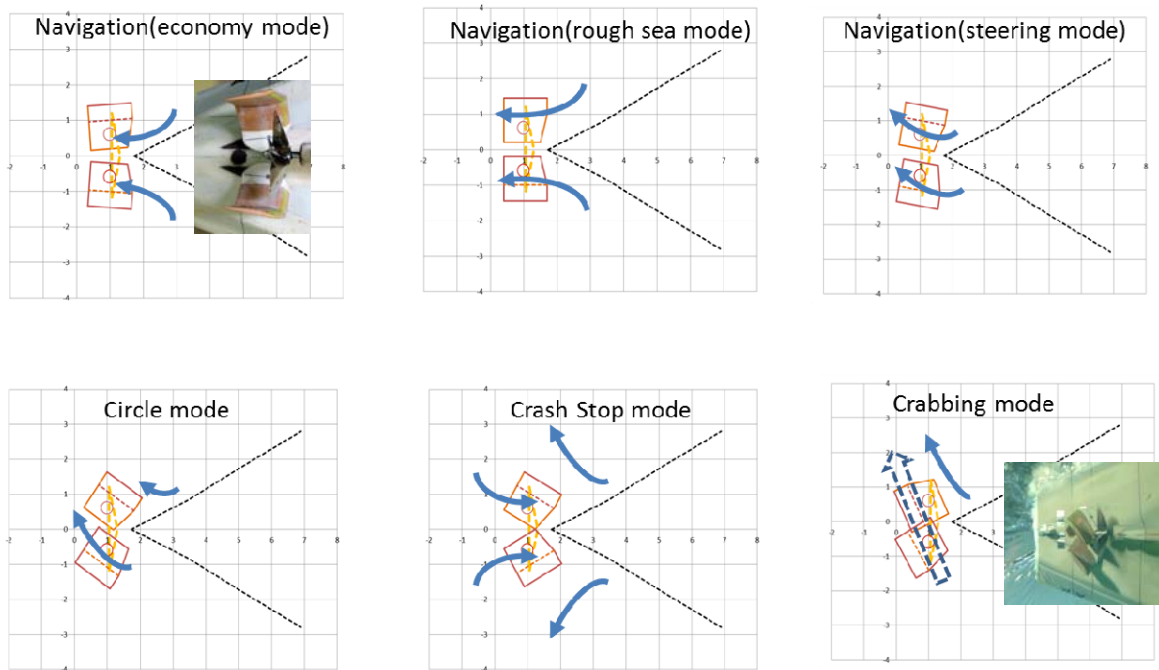


Fig.7 Gate Rudder Steering Modes (upper ; Navigation Modes, lower; Maneuvering Modes)

られ、その欠点を完全に克服できたと判断している。特に Crabbing Mode と呼ぶ横移動モードは内航船には必須の操船能力であり、この機能が従来性と比べて十分であることは燃費改善と同様に重要と考える。

紙面の関係で詳細は第2報（ゲートラダーのアクティブ操舵とその効果を予定）に譲るが、舵軸と舵面が同一平面にある大型外航船用のゲートラダーは、5~6kts より高速側では通常舵より優れた操舵力を持つ一方、それ以下の低速では逆に不利となる。内航船用のゲートラダーではそれを補うため、舵形状と操舵方法を変更し Crabbing mode (Fig.7 参照) と呼ぶ操舵を行うことで、従来舵よりも約1.5倍もキック力の優れた離着岸性能が得られることが水槽実験により確認された。

#### (6) ダクト効果

ゲートラダーが持つダクト効果の検証データとして、自航試験中の舵推力や自航要素、さらにプロペラの無い状態ではあるがゲートラダーの迎角に違いによる伴流分布の変化など多くの貴重なデータが得られた。ここでは後者の伴流分布で得られたゲートラダーの加速効果を Fig.8 に示す。プロペラ面全体が加速されているが、特に流速の遅いプロペラ面の中心部や伴流のピークが生じる12時位置の加速が大きく、プロペラ面での流れの均一化が進んでいることが分かる。その他、ダクト効果が推進性能に与える影響として以下の事実が判明した。

- 1) 推進効率が最大となるプロペラ前後位置が存在する
- 2) 舵開き角の調整によりプロペラ負荷の変更が可能である (Fig.7 rough sea mode)
- 3) 舵の開き角を変えると舵と船体の干渉が変化し 舵推力最大のポイントが必ずしも最適では無い

これらの詳細についても紙面の関係で第2報に譲るが、ゲートラダーのダクト効果を最大限に利用することで、推進効率の大幅な向上や振動・騒音の低減が可能である。

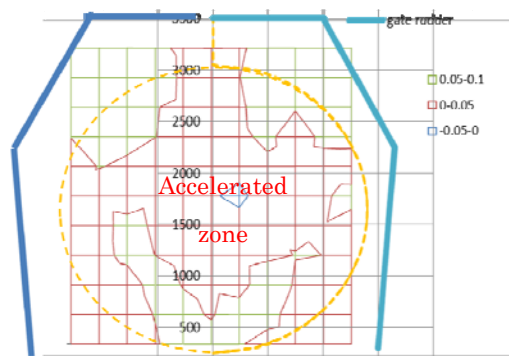


Fig.8 Duct Effect of Gate Rudder obtained from Flow Measurements (different attack angles)

#### 4. 結論

低速肥大船において省エネ効果が確認されたゲートラダーに対して、その形状の工夫によりダクト効果を高め、痩せ型で高フルード数船の小型内航船においても約4%の省エネ効果を確認することができた。さらに内航船型に要求される高い離着岸性能に対しても、操舵モードの工夫により十分な能力があること、そのほか、海象に応じてプロペラ負荷を増減できるプロペラ面の流速調整機能や、振動・騒音を減少させる流れの均一化機能など興味深い数々の特徴があることが明らかとなった。

#### 参考文献

- 1) 佐々木紀幸: EEDI フェーズ3に向けた海技研の取り組み, 海上技術安全研究所秋季講演会, 2012年10月.
- 2) N. Sasaki: ZEUS and NOAH Projects of NMRI, 3<sup>rd</sup> International Symposium on Marine Propulsors, Tasmania, Australia, May 2013.