

株式会社名村造船所

新舵断面の開発

大島 広紀*

Ohshima Koki



当社は自社開発したホロー舵断面を使用している。ホロー舵断面は従来のゲッチング舵断面に比べ、小さな舵面積で大きな横力が得られるため、従来のゲッチング舵断面よりも舵面積を小さくすることができる。しかし、ホロー舵断面は強度計算に用いられる部分の舵厚が、ゲッチング舵断面に比べて小さくなるため、近年の強度に関するルールの改正により、船級の鋼船規則をクリアすることが難しくなっている。そのため、鋼船規則を満たすように最大舵厚を決定する際、最大舵厚が標準より大きくなる場合があり、最大舵厚が大きくなることによる抵抗の増加が懸念されている。そこで今回、CFD 解析や回流水槽試験を通して、ホロー舵断面よりも強度上有利な形状で、かつホロー舵断面に比べ同等かそれに近い舵性能を持つ新しい舵断面の開発を行った。

1. 緒言

舵の強度計算を行うと、ホロー舵断面はゲッチング舵断面に比べて最大舵角35度における横力が約1.2倍であり、さらに第1図に示すように強度計算に用いられる部分がゲッチング舵断面と比べて小さいため、ゲッチング舵断面と比べて25～35%程度の強度となる。そのため、鋼船規則を満たすように最大舵厚を大きくする必要があり、当社標準の最大舵厚を超えてしまう場合がある。CFD 計算結果では舵の抵抗は最大舵厚に比例して大きくなることが確認

できており、最大舵厚が当社標準より大きくなることは抵抗増加の面から避けるべきと考えられる。また、現在当社標準の最大舵厚を維持するため、強度計算に用いられる部分に鋳鉄を用いて増強しており、重量、材料費の増加にもつながっている。

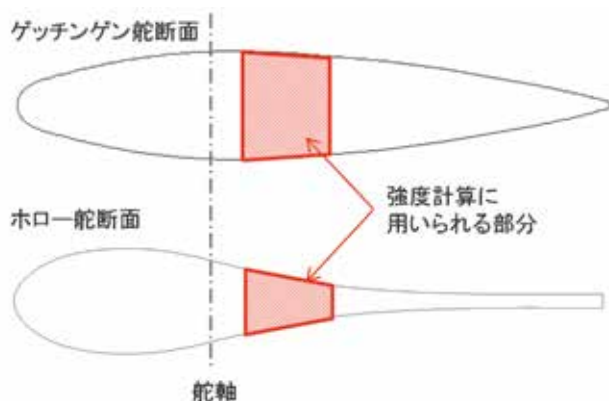
本開発では、初めにCFD 計算を用いて、ホロー舵断面の強度計算に用いられる部分に厚みを持たせつつ、舵性能を低下させない形状を作成する。次に、作成した形状について、国立大学法人九州大学の回流水槽にて、舵単独、プロペラ後流中での模型試験を行い、最後に一般財団法人日本造船技術センターの曳航水槽にて模型船に舵を取り付け、操縦性試験を行い舵の性能を確認する。

2. 舵断面の開発

2. 1 CFD による舵断面の検討

2. 1. 1 CFD 解析方法と解析モデル

舵断面の検討には株式会社ソフトウェアクレイドルの非構造格子系汎用三次元熱流体解析システムである「SCRUYU/Tetra®」を用いた。SCRUYU/Tetra®は三次元のモデルを作成し、モデル上の圧力や流れなどを解析することができるソ



第1図 強度計算に用いられる部分

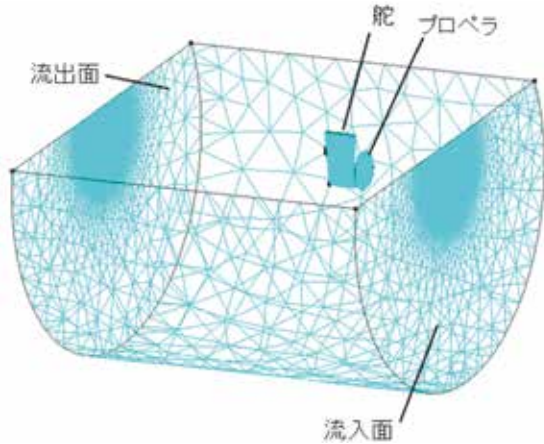
原稿受理日：July 31, 2019

*株式会社名村造船所 船舶海洋事業部 設計本部 基本設計部 計画設計課

ソフトウェアで、各部に加わっている力や圧力分布、流れの速度や流線等を可視化することもできる。本開発では舵断面を変更し、舵単独、プロペラ後流中について、各舵角での横力、抗力、モーメント、及び可視化情報から流れの状態を確認し、性能の優れた舵を検討した。SCRJU/Tetra®にて作成した解析モデルを第2図に示す。解析領域は半円柱形状で、舵の上端が喫水面となるように配置している。解析条件を第1表に示す。舵モデルの縮尺は後の回流水槽試験で使用する模型プロペラの実船プロペラとの比率より決定している。解析モデルの流速と回転数は、実船のスラスト係数に一致するように決定している。

2. 1. 2 CFD 解析結果

検討した新舵断面の変更のイメージを第3図に示す。新舵断面形状はいずれも強度計算に用いる部分の舵厚をホロー舵に比べ厚くしている。また、ゲッチング舵断面、ホロー舵断面、新舵断面2形状の4ケースについて、SCRJU/Tetra®の解析結果より、抗力、横力、モーメントの大きさについてゲッチング舵断面との比較を第4図に、舵断面周りの流速分布と圧力分布の可視化例を第5図に示す。



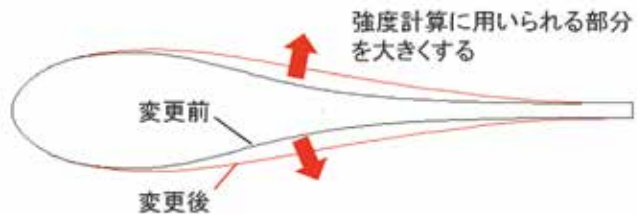
第2図 SCRJU/Tetra®解析モデル

第1表 解析条件

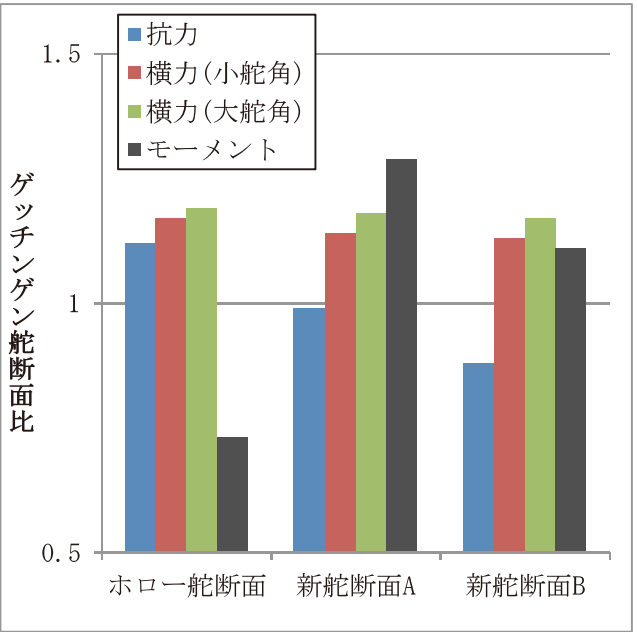
	解析モデル (回流水槽試験)
流速	1.5m/s
プロペラ直径	0.25m
プロペラ回転数	10rps
乱流モデル	k- ω SST
プロペラモデル	簡易プロペラ
船体の影響	無
自由表面	無

解析結果では強度計算に用いる部分の舵厚を大きくするほど、抗力、横力共に減少する傾向が見られ、新舵断面A,Bはホロー舵断面に比べ抗力は10~20%程度小さく、横力は1~4%程度小さい結果となっている。強度計算に用いる部分の舵厚を大きくしたことで舵の側面で流れが剥離しにくくなり、直進時の舵後方の負圧領域が小さくなることで、抗力が減少したと考えられる。一方、旋回時に舵の側面で流れが剥離しにくくなることで、舵側面の負圧の範囲が小さくなり横力がやや減少したのと考えられる。

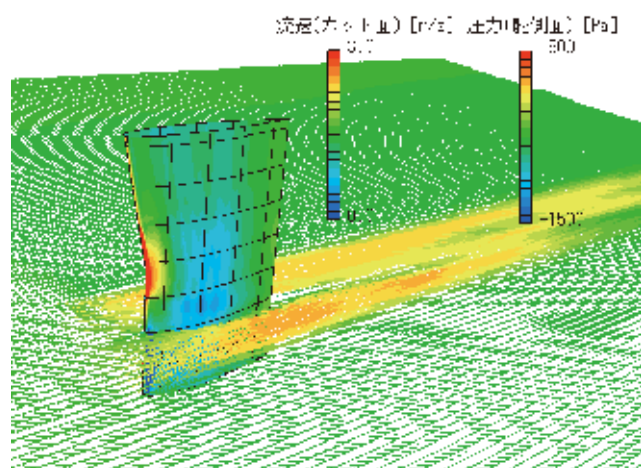
強度に関しては、当社建造船の強度計算上最も厳しい船型を対象に新舵断面2形状を用いた場合について強度計算を行い、新舵断面2形状共に当社標準の最大舵厚を満たすことが確認できている。



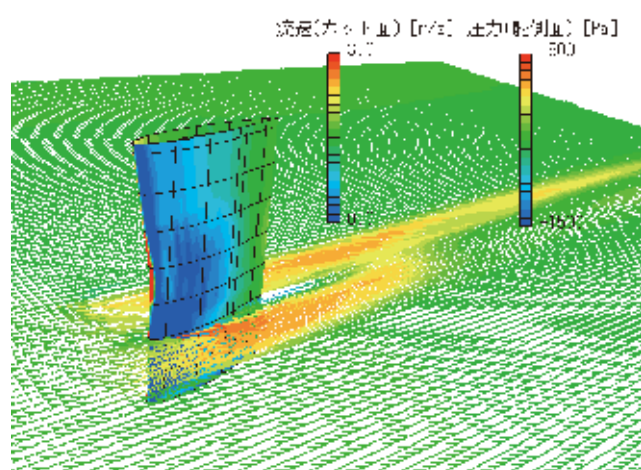
第3図 新舵断面変更のイメージ



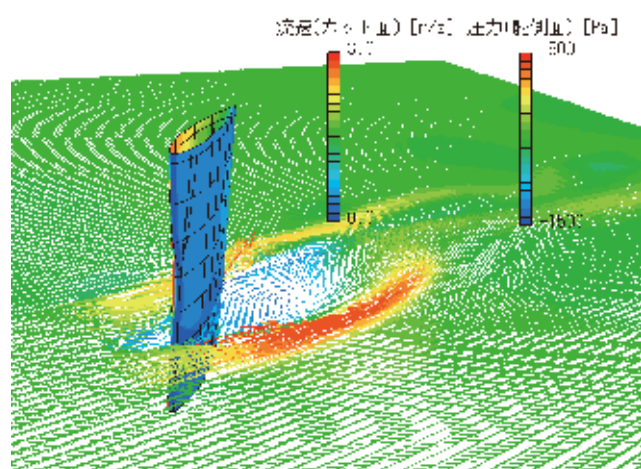
第4図 ゲッチング舵断面との比較(CFD)



(a) ゲッチングン舵断面, 舵角 0 度



(b) ゲッチングン舵断面, 舵角 10 度



(c) ゲッチングン舵断面, 舵角 40 度

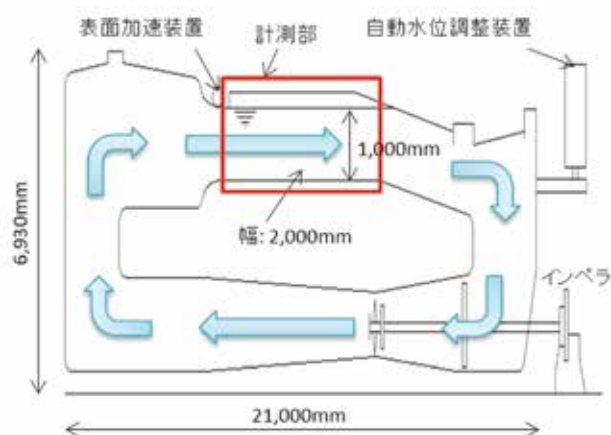
第5図 SCRYU/Tetra®による可視化例

2. 2 新舵断面の性能確認試験

ゲッチングン舵断面, ホロー舵断面, 新舵断面 2 形状の 4 ケースについて, 国立大学法人九州大学の回流水槽にて模型試験を実施した。その後, 一般財団法人日本造船技術センターにて操縦性試験を実施した。

2. 2. 1 回流水槽試験装置と試験内容

模型試験を実施した回流水槽の概略図と諸元を第6図, 第2表に示す。計測部では試験装置及び模型舵によって生じる波を抑えるため制波板を使用している。また, 模型舵を支えるシャフトにかかる力を計測しないよう, シャフトの流れが当たる部分には, 制波板に固定されるゲッチングン舵断面のシャフトカバーを取り付けて計測を行った。制波板とシャフトカバーを写真1, 写真2に示す。舵模型は解析モデルと同じサイズで, NC 切削機を用いて作成されている。模型舵を写真3に示す。模型試験に用いたプロペラは国立大学法人九州大学所有のストックプロペラを用いた。模型プロペラの写真と諸元を写真4, 第3表に示す。模型試験はオープンボート後方でプロペラを作動させ, その後方に舵を設置する配置で実施した。舵角を-40 度~40 度まで 2.5 度刻みで変更し, 三分力計を用いて各舵角時の抗力, 横力, モーメントを計測し, 舵断面の比較を行った。試験の条件については解析条件と同じのため, 第1表のとおりとなる。試験時の様子を写真5に示す。



第6図 回流水槽概略図

第2表 回流水槽諸元

全体部寸法 長さ×幅×深さ	21m×3.2m×6.93m
観測部寸法 長さ×幅×深さ	5.6m×2.0m×1.0m
流速	0.1～3.3m/s (0.001m/s 刻み)
流速分布	±2.0%以下
定在波の波高	±2mm 以下
サージング	±2mm 以下

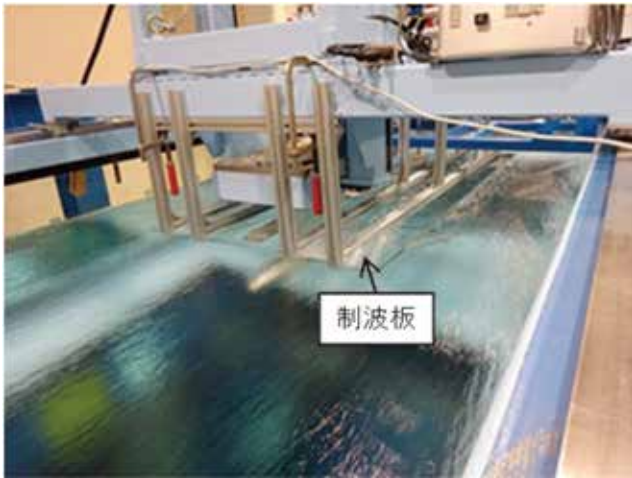


写真1 制波板

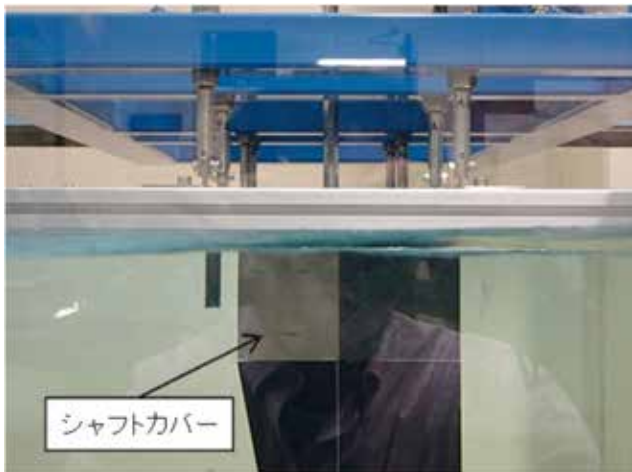


写真2 シャフトカバー



写真3 模型舵



写真4 模型プロペラ

第3表 模型プロペラ諸元

	模型
直径	0.25m
ボス比	0.20
ピッチ比 (0.7R)	0.95
展開面積比	0.65
翼厚比	0.05
レーキ角	6.0 度
スキュー角	10.5 度
翼数	5
BLADE SECTION	MAU
回転方向	右

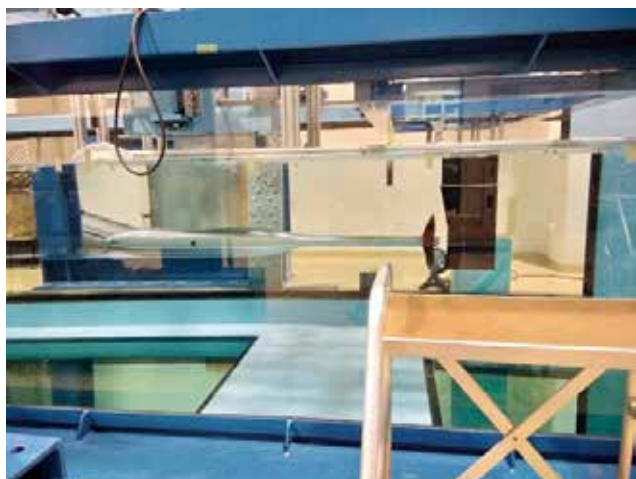
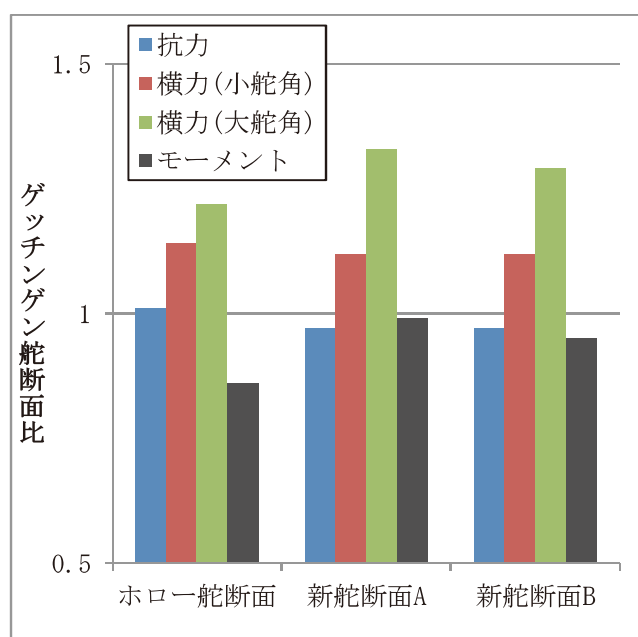


写真5 試験時の様子

2. 2. 2 回流水槽試験結果

CFD 解析結果と同様に抗力、横力、モーメントの大きさについてゲッチング舵断面との比較を第7図に示す。抗力、小舵角時の横力についてはCFD 解析結果と同様に、強度計算に用いる部分の舵厚を大きくするほど抗力、横力共に減少する傾向が見られ、新舵断面2形状はホロー舵断面に比べ抗力は3%程度小さく、横力は1%程度小さい結果となっている。モーメントについてもホロー舵断面、新舵断面2形状についてはCFD 解析結果と同様の傾向が見られているが、CFD 解析結果では新舵断面2形状共にゲッチング舵断面を超えるモーメントとなっていたのに対し、回流水槽試験ではゲッチング舵断面よりも小さいモーメントとなっている。また、大舵角時の横力は、回流水槽試験結果では

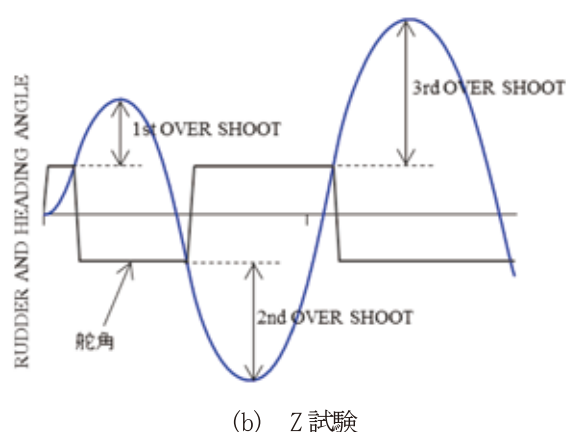
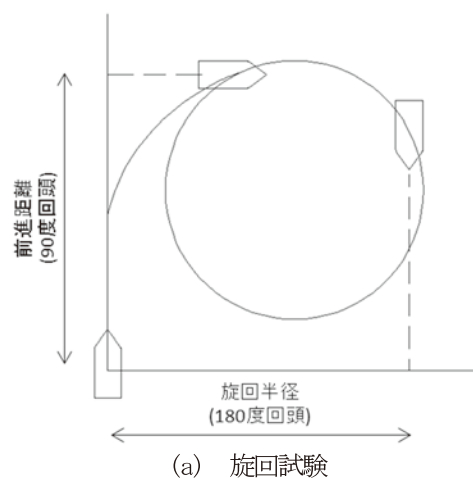


第7図 ゲッチング舵断面との比較(模型試験)

新舵断面2形状ともホロー舵断面より大きな横力となっており、新舵断面Aで11%, 新舵断面Bで7%大きくなっている。CFD 解析結果では小舵角時と同様に強度計算に用いる部分の舵厚を大きくするほど抗力、横力共に減少する傾向が見られ、回流水槽試験結果と傾向が異なっている。よって、大舵角時については今回のCFD 解析では模型試験を再現できていないと考えられる。

2. 2. 3 操縦性試験

回流水槽試験より新舵断面Aを採用とし、一般財団法人日本造船技術センターにて、ケーブサイズバルクキャリアの模型船に新舵断面Aの舵を取り付け、操縦性試験を実施した。操縦性試験内容を第8図に示し、結果についてホロー舵断面の舵を取り付けた結果と比較したものを第4表に示す。旋回試験に関しては、右旋回時の旋回半径が大きくなっている以外は同程度の操縦性能となっており、Z試験に関してはOVER SHOOTの減少が見られている部分もある。これら操縦性試験の結果より、操縦性能についてはホロー舵と比較して大きな違いが無いことが確認できた。



第8図 操縦性試験

第4表 操縦性試験結果（ホロー舵断面比）

			新舵断面 A
旋回試験	+35deg	前進距離	1.0
		旋回半径	1.1
	-35deg	前進距離	1.0
		旋回半径	1.0
Z 試験	+10-10deg	1st OVER SHOOT	0.9
		2nd OVER SHOOT	1.0
	-10+10deg	1st OVER SHOOT	1.0
		2nd OVER SHOOT	0.8
	+20-20deg	1st OVER SHOOT	0.8
	-20+20deg	1st OVER SHOOT	1.0

3. 結言

本開発では、ホロー舵断面よりも強度上有利な形状で、かつホロー舵断面に比べ同等かそれに近い舵性能を持つ新しい舵断面の開発を行った。開発を行った新舵断面 2 形状は共に当社の建造船において、鋼船規則に従い舵厚を決めた場合に、当社標準の最大舵厚を超えないことが確認できている。国立大学法人九州大学で行った回流水槽試験では、ホロー舵断面に比べて小舵角時の横力はほぼ同等となっており、抗力の減少、大舵角時の横力の増加が見られている。これらより、新舵断面 2 形状において、舵性能の大きな低下は見られない。またモーメントは、ホロー舵断面に比べて大きくなっているが、ゲッチング舵断面以下には抑えられており、問題はないと考えられる。採用舵断面は新舵断面 B と比較して、横力がやや大きかった新舵断面 A とした。採用舵断面を用いて、一般財団法人日本造船技術センターで実施した操縦性試験においても、ホロー舵断面と大きな差は見られず、ホロー舵断面に近い舵性能を持つことが確認できた。

謝辞

本研究を行うにあたり、回流水槽での模型試験での試験方法、計測方法、舵断面形状などについてご意見、ご指導くださいました国立大学法人九州大学の先生方、模型試験にご協力いただきました一般財団法人日本造船技術センター各位、並びに社内関係者各位にこの場を借りて深く御礼申し上げます。