

特集論文



高精度パネル法を用いた高性能ス テータフィンの開発

Development of High-Performance Stator Fin by Using Advanced Panel Method

星 野 徹 二 *1	大島明*²	藤 田 一 誠 *³
Tetsuji Hoshino	Akira Oshima	Kazunobu Fujita
<mark>黒 岩 隆 夫</mark> *⁴	林 文 夫 *⁵	山 崎 悦 男 *®
Takao Kuroiwa	Fumio Hayashi	Etsuo Yamazaki

ステータフィンはプロペラ後方の舵に設置してプロペラ回転流を回収する,高速・痩せ型船に適用可能 な省エネ装置である.自動車運搬船を対象に,ステータフィンの設計と,理論計算及び模型試験による評 価を行った.さらに,実船において,速力試験のほかに,信頼性及び性能の確認とステータフィンの基礎 データ取得を目的としてフィンの応力計測,振動計測及び作動状況観察を実施した.その結果,省エネ効 果のほか,強度・振動面で問題の無いことを確認した.当社建造の自動車運搬船では,ステータフィンが 標準装備となりつつある.今後は,コンテナ船等,さらに高出力主機装備船への適用を検討していく.

1.はじめに

船舶における省エネは、運航コスト低減のみならず, 最近では地球環境保護のためのCO2排出量削減の見地 からも,ますます必要とされ,船体形状の最適化のみ ならず,各種の省エネ装置の開発がなされている.

このような省エネ装置の中で,当社ではプロペラ前 方に設置し,プロペラ回転流を回収して効率向上を図 るリアクションフィンを開発し,タンカー等の低速・ 肥大船に装備して効果を上げてきた.さらに高速・痩 せ型船にも適用可能な省エネ装置として,プロペラ後 方の舵に設置するステータフィンの開発を行った.本 報告では,ステータフィンの原理と設計,実船での検 証について解説をする.

2.ステータフィンの原理

各種省エネ装置の中で,省エネ付加物は"船体抵抗 や推進効率改善を目的としてプロペラの周辺に装備さ れる装置"と定義される⁽¹⁾.省エネ付加物は,通常は 船舶が航走することにより捨てられるエネルギーを何 らかの方法で回収する装置で,回収すべきエネルギー に対応して下記に分類することができる.

- (a) プロペラ旋回流回収による効率向上を図る装置
- (b) プロペラ低荷重化による効率向上を図る装置
- (c) プロペラハブ渦拡散による効率向上を図る装置ステータフィンは上記(a)に含まれる.

ステータフィンの原理を図1に示す.ステータフィ

*2 技術本部長崎研究所船舶・海洋研究推進室主席

*3 技術本部長崎研究所振動研究室主席



図1 ステータフィンの原理

ンには,プロペラにより加速された軸方向流速Vxと 周方向流速Vtの合成流速Wが流入する.Wに対して 適切な迎角を持たせることで,Wにより発生する揚力 Lと抗力Dの軸方向合成成分として推力Tsが発生す る.Tsによりプロペラ発生推力の減少,すなわち, 所要馬力の低減が可能になる.

当社ではプロペラ旋回流の回収を図る省エネ装置として、プロペラ前方に設置するリアクションフィンや 二重反転プロペラ(CRP)を開発・実用化してきた. CRPは最も効率よく旋回流を回収できるが、複雑・ 高価なため一般には用いられていない.リアクション フィンとステータフィンは、CRPの前方又は後方プ ロペラを固定したものでCRPと比較して簡便・安価 である.リアクションフィン自体は抵抗となるため、 船尾の流れが遅く旋回流の回収効果に比して抵抗が小 さい低速・肥大船に適用されてきた.流れが速く抵抗 が大きくなる高速・痩せ型船には適用されていない.

*4 技術本部長崎研究所強度研究室主席

*6 長崎造船所造船設計部計画課主席

^{*1} 技術本部長崎研究所船舶・海洋研究推進室主幹

^{*5} 下関造船所船舶・海洋部計画設計課主席

表1 TRANS FUTURE 3 主要目				
長	さ	(m)	162.7
幅		(m)	25.0
深	さ	(m)	12.4
喫	水	(m)	7.5
載貨重	量	(t)	7 893
				8 UEC 50 LSII
主			機	15700 PS × 127 rpm(MR)
				14130PS × 123 rpm(NR)
航海速	力	(kt)	21.1



図 2 TRANS FUTURE 3 一般配置図



図3 プロペラ+ステータフィン解析モデル

ステータフィンはフィン自体が推力を発生するので高 速・痩せ型船での省エネ効果が期待できる.

3.ステータフィンの設計,評価

自動車運搬船 TRANS FUTURE 3 を対象にステー タフィンを設計し,推進性能及び構造(強度・振動) の検討を行った. TRANS FUTURE 3 の要目を表 1 に,一般配置を図 2 に示す.

3.1 設計

ステータフィンにより高い省エネ効果を得るには, フィンが有効な推力Tsを発生する形状とする必要が ある.図1より,ステータフィン全体が発生する推力 Tsは,

 $\label{eq:stars} Ts \quad Zs \; L = \; 1/2 \; \; Zs W^2 C \mathrel{\llcorner} S \; / \; (\; 1 \; + \; 1 \; / AR \;)$ $\exists \; \exists \; \eth \; \mathcal{C}$,

Zs:ステータフィン翼数

```
C⊥: 揚力係数
```

- S:翼面積(=Lc×Ls)
- Lc:平均翼弦長
- Ls:翼幅
- AR:アスペクト比(Ls/Lc)

とあらわされる.揚力係数は翼型では迎角の関数で あり上限がある.また,Lsはプロペラ半径より小さ な値となるので,Tsを増すには翼弦長Lcを増すか翼 数Zsを増すのが有効である.実際には,船尾のプロ ペラ周りの配置や製作の容易さを勘案してLcとZsを



図4 プロペラ + ステータフィン解析フロー チャート

決めることとなる.また,フィンに流入する流れはプロペラにより周期的に変動するので,起振力を下げる見地からZsは前方プロペラ翼数と一致させないようにする必要がある.本船の場合,プロペラが6翼であるため,ステータフィンは9翼とした.さらに,フィンの設計には,フィンへ流入する流速Wの精度良い推定が不可欠である.そこで,高精度パネル法を用いてステータフィンとプロペラを一体で解析する計算モデルを作製した⁽²⁾.このモデルでは図3に示すように,プロペラとプロペラの後流渦,ステータフィンとフィンの後流渦を微小パネルに分割し,各パネル上の速度ポテンシャルを未知数として,図4に示すフローチャートにしたがって,プロペラとステータの干渉問題として解く.この計算法により,フィンの最終形状を決



図5 模型試験でのステータフィン配置



図6 キャビテーション試験



定した.

3.2 推進性能及びキャビテーション性能

設計したステータフィンの模型を製作して水槽試験 で性能確認を行った.

まず,ステータフィンがある場合と無い場合,各々 について抵抗・自航試験を実施して推進性能の評価を 行った.図5にステータフィンが有る場合の試験配置 を示す.試験の結果,ステータフィンによる馬力低減 効果は約4%と評価された.

次にキャビテーション水槽にて,ステータフィンが 有る場合のキャビテーション試験を実施した.喫水が 最も浅い試運転状態で主機出力最大に対応した条件で のキャビテーション試験状況を図6に示す.ステータ フィンには全くキャビテーションは発生せず,プロペ ラのチップボルテックスキャビテーションは,ステー タフィンの外側を通過し,フィンには接触しないこと を確認した.したがって,エロージョン等,キャビテ ーションによる損傷の恐れは無いものと判断した.

3.3 強度

ステータフィンの強度検討のために,水槽試験によ ってステータフィンの翼の基部に作用する応力を計測 し,その結果から各フィンに作用する流体力,及びフ ィン全体に作用する流体力を求めた.この翼応力計測 は,平水中直進時の他に,旋回を模した斜航時や波浪 中についても実施した.

最大作用応力に対する許容応力 auは,母材の降伏 応力 yを基に,安全率を考慮して定めた.水槽試験 で計測された翼応力より,実船の翼の基部に作用する 応力 iを推定した.iは波浪中直進状態で最大とな るが,平水中直進状態での定常成分 i/ au = 0.10と 波浪中の変動片振幅 i/ au = 0.54より i/ au は最大 で0.64であり,許容応力の約1/3の余裕を有している. さらに変動応力に対する翼の基部の疲労強度,及びス テータフィンの取付溶接部の強度を検討し,十分な安 全率を有するように設計した.

3.4 振 動

ステータフィンの防振設計を検討するために,ステ

図7 ステータフィン振動 解析

ータフィンの振動特性の予測計算を実施した.先ず Taper Beamの簡略計算で初期検討を行った後,ステ ータフィンとラダー及びラダーホーンなどの近接構造 を結合したモデルで詳細FEM計算を実施して確認を 行った.

図7に詳細FEM計算結果を示す.水中でのステー タフィンの固有振動数は,42.2 Hz となり,リアクシ ョンフィンの防振設計⁽³⁾(固有振動数を3.3 N_PZ以上 とする,N_P:プロペラ回転数,Z:プロペラ翼数)の 基準を満たしている.

4.実船試験 4.1 試験配置

実船に初めて適用されたステータフィンについて, 通常実施する速力試験の他に,信頼性及び性能の確認 とステータフィンの基礎データ取得を目的として,図 8に示す試験配置で下記項目の計測を実施した.

- ●ステータフィンキャビテーション発生状況
- ●ステータフィン翼の基部の応力
- ●ステータフィン固有振動数



336



図9 ステータフィンが発生する推力

4.2 推進性能

ステータフィンの各翼に作用する荷重 Fiがステー タフィンの半径の60%の位置に作用すると仮定し, 翼根応力 iから Fiを求めた.各翼の荷重 Fiを用いて ステータフィンの推力 Tsを算出し,無次元推力係数 Krs(=Ts/NP²DP⁴,:海水密度,DP:プロペラ直径) として,主機出力 BHP に対してプロットして図9に 示す.模型と実船は良い一致を示しており,実船にお いても模型試験と同様の馬力低減効果が達成されたと 評価できる.

4.3 キャビテーション観察

図10に実船のステータフィンのキャビテーション 発生状況を示す.最も水面に近いNo.9翼のみ間欠的 なチップボルテックスキャビテーションが発生し,他 の翼には発生していなかった.また,プロペラのチッ プボルテックスキャビテーションは,ステータフィン の外側を通過しており,フィン翼端には接触していな い.実際の運航では,試運転状態より喫水が深くなる ことも合わせて考慮すれば,本船のステータフィンに キャビテーションによるエロージョンの発生は無いも のと判断される.

4.4 強 度

試運転で計測された翼の基部に作用する応力の定常 成分は,最大で / == 0.11で,水槽試験からの予測 値 / == 0.10に近い値となっており,模型試験結果 は十分な精度を有していると評価される.

4.5 振 動

空中及び水中でのハンマリング試験結果を図11に 示す.水中でのステータフィン翼の固有振動数は 45.8 Hzで3.3 NrZ以上という条件を満たしている.ま た,海上運転での計測では固有振動数は46 Hzで,翼 根応力は小さく過大振動が発生していないこと,すな わち,共振回避できていることが確認された.

5.まとめ

プロペラ後方に設置する省エネ装置であるステータ フィンについて,推進性能に加えて構造面(強度・振動)







図11 ステータフィン翼の固有振動数

からも理論計算及び模型試験で検討を行い,ステータ フィンを初めて装備した自動車運搬船で検証のための 実船試験を行った.その結果,ステータフィンは予想 通りの省エネ効果を発揮し,かつ,強度・振動でも問 題が無いことが確認された.本船装備後,当社建造の 自動車運搬船ではステータフィンが標準装備となりつ つある.今後は,コンテナ船等,更に高出力主機装備 船への適用を検討していく.

参考文献

- (1)用語解説5,省エネ付加物,関西造船協会,らん 第48号(2000)
- (2)川北千春ほか,後方ステータ付きダクトプロペラのパネル法による単独計算,西部造船会会報 第96号(1998)
- (3) 阪井大輔ほか, リアクション・フィンの信頼性に 関する研究, 西部造船会々報 第76号(1988)



三菱重工技報 Vol.41 No.6 (2004-11)