

8 コンテナ船用プロペラの高次船尾変動圧力 (その2)

【討論】千葉規胤君 (1) チップアンローディングにより変動圧力低減に成功されましたが、これらの模型プロペラのキャビテーションエロージョン性能について御教示下さい。特に MPNO. 91-02 の実船実績はいかがでしたか。

(2) 本論文の中で MPNO. 91-03 の位置付けを教示下さい。

【回答】(1) キャビテーションエロージョンテストを実施していないので、エロージョン性能についてコメントするのはむずかしいのですが、キャビテーション観察(標準状態)の記録等から関連のありそうなことを下記致します。

① 最初に実施した、標準状態のキャビテーション観察の後、MPNO. 91-01 の翼面 (0.9 R の後縁付近) のペイントが極くわずかですが剥がれていました。その他のプロペラは剥がれていません。

② クラウドキャビテーションについては下記の通りです。

MPNO. 91-01 : 60°~70° でクラウドキャビテーション発生。

MPNO. 91-02 : 60°~80° でクラウドぎみのシートキャビテーション発生。

MPNO. 91-03 : 86°~102° で軽いクラウドキャビテーション発生。

MPNO. 91-05 : 8°~87°, 175°~253° でクラウドぎみのシートキャビテーションと軽いクラウドキャビテーション発生。

実船では、MPNO. 91-01 で少しキャビテーションエロージョンが確認されています。MPNO. 91-02 についてはまだ調査されていません。

(2) MPNO. 91-02/03/05 は同一シリーズ (KIS シリーズ) のプロペラで、MPNO. 91-01 とは異なります。MPNO. 91-03 はほとんど高次船尾変動圧力を考慮せずに KIS プロペラを標準設計したものです。MPNO. 91-01 も高次船尾変動圧力をほとんど考慮せずに設計されたと考えられますので、この2つのプロペラの比較から異なるシリーズの差が調査されます。また、MPNO. 91-02/05 との比較から同一シリーズでも設計方針が異なる場合の差が調査されます。

【討論】石井規夫君 (1) 現装プロペラに対しピッチ分布、翼幅分布、キャンパー分布を変えて3種類のプロペラを設計されていますが、それぞれなぜこのような分布形状としたのかお教え下さい。また、このような分布形状のうち本船用としてどの分布形状が最適であると考えてお

られるのかお示し下さい。

(2) Fig. 7 でプロペラ回転数を変えて変動圧力を計測されていますが、水槽流速を変えた際の伴流分布の変化の様子は計測されているでしょうか。

(3) 結言(2)で翼先端付近での高キャンパー比と短翼幅も効果があったとされていますが、効果に対する考察としてピッチ分布だけ、直径だけ、キャンパー分布だけ、翼幅分布だけと、各要素による効果を分離して検討しておられたならばその検討結果をお教え下さい。

【回答】(1) MPNO. 91-02/03/05 は MPNO. 91-01 とシリーズが異なり、KIS プロペラです。KIS プロペラは MAU プロペラと同様に母型、設計図表をベースとした設計法を用いています。したがって、キャンパー分布は設計パラメータとしては独立ではなくて翼厚と翼幅によって決定されます。(もちろん、独立に取り扱うことも可能ですが、通常は従属パラメータとしております。)ピッチ分布、翼幅分布については下記の要領で決定しました。

① MPNO. 91-02

ピッチ分布：できる限りチップアンロードとするために非定常プロペラ揚力面計算により伴流中においてフェイスキャビテーションがでない限度でピッチをディクリーズとした。

翼幅分布：KIS プロペラのほぼ標準分布を採用。(軸からのプロペラ引抜きを考慮して若干修正した。)

② MPNO. 91-03

ピッチ分布、翼幅分布ともに KIS プロペラ標準形状を採用。KIS プロペラ設計標準に従って設計した。

③ MPNO. 91-05

MPNO. 91-02 の実験後、よりキャビテーション性能(および船尾変動圧力)を改善しようとして MPNO. 91-02 をベースに設計したプロペラ。

ピッチ分布：MPNO. 91-02 で少しフェイスキャビテーションが気になったので(キャビテーション観察でフェイスキャビテーションが出たわけではない)若干、ディクリーズを弱めた。

翼幅分布：翼先端付近のキャビテーション性能を向上させるため MPNO. 91-02 の翼先端付近の翼幅を少し広くした。

模型実験結果から、高次船尾変動圧力軽減の目的では MPNO. 91-02 の分布形状が最適と判断しています。

(2) 本実験においては計測していません。

(3) 南方氏の御質問に対する回答で理解頂ければ幸いです。

【討論】 南方潤三君 著者らは論文中、高次船尾変動圧力を減少させるため、船用プロペラとしては；

- －チップアンロード化
- －チップクリアランスの増加
- －翼面積の増加

をご提案されておりますが、一般的に効果の順位およびその割合の期待値をお示し願います。

【回答】 本プロペラ設計にあたっては KIS プロペラの系統的船尾変動圧力計測結果を用いておおざっぱに船尾変動圧力の軽減量の推定を試みました。その値は下記の通りです。

表 1 要素別の船尾変動圧力減少量 (%) の推定値 (MPNO. 91-01 に対する MPNO. 91-02 の減少量)

	1 次成分	2 次成分	3 次以上
チップアンロード	10	14	16
チップクリアランスの増加	9	11	15
翼面積の増加	11	17	17
合計	30	42	48

1 次翼振動数成分についてはこの程度のラフな推定でもおおよそ近いところの推定は可能と思われる。しかし、2 次以上の高次変動圧力についてはその発生メカニズムをさらに明らかにしない限り推定できないと考えるべきだろうと思います。

表 1 に示すように、MPNO. 91-02 の 2 次以上の高次成分についても一見、実験結果と対応しているように思われます。幾何形状が MPNO. 91-02 とほとんど同じであるために、MPNO. 91-05 の船尾変動圧力の減少量推定値は MPNO. 91-02 とほとんど同じになります。しかし、実験結果では MPNO. 91-02 と MPNO. 91-05 でかなり大きな差が出ており、この差の説明はついていません。

MPNO. 91-05 に対して MPNO. 91-02 の翼形状の主な違いは翼先端付近の翼幅が狭いことおよびキャンバー比が大きいことです。これらが高次船尾変動圧力の差につながったとしか考えられないのですが、それ以上のことは現在よくわかっておりません。今後、できる限り説明を進めたいと考えます。

【討論】 谷林英毅君 前報に引き続きプロペラの高次起振力について立派な研究成果を発表していただき感謝しております。40%の起振力低減はまったく素晴らしいことだと思います。

(1) おかげでこれまで不明とされてきた高次起振力にメスが入ったと感じておりますが、主題である tip vortex についてプロペラ相互間 (M. NO. 91-01 と 91-02) の相違がいま一つ掴めません。著者も「やや多い」という表現を使っておられますが、簡単なスケッチか、あるいは半径方向の循環分布の勾配 $d\Gamma/dr$ などによりもう少し具体的にお示しくださいませでしょうか。

(2) 著者は高次起振力の研究に当たって貴重なデータ

を提供されているわけですが、もう一步進んで実験計測データも公表いただけたらこれにまさるものはないと思います。もちろん船主、造船所等関係先のご理解取得が前提となりますが、この一文がその一助となれば幸甚と思ひ申し添える次第です。

【回答】 (1) 翼面上のキャビテーションを主としてスケッチされているために、チップボルテックスキャビテーションはしっかり描かれていません。真横からチップボルテックスキャビテーションを撮影した写真がありますので、それをかわりに写真 1(a), (b) に示しております。また、標準状態 (均一流中) における MPNO. 91-01/02 の半径方向循環分布 (揚力面計算結果) を図 1 に示しております。参考になれば幸いです。

(2) 振動、騒音については当社で計測していますので公表可能ですが、船尾変動圧力については船主サイドで計測されていますのでその了解が必要です。船主の了解をえて報告したいと考えておりますので、御提言はおおいに助けとなります。ありがとうございます。

【討論】 上田隆康君 (1) 高次成分は、チップボルテックスキャビテーションの挙動 (例えば、キャビテーションの体積変化、崩壊等の細密な状況) に支配されていると思うのですが、この点の見解とその調査の必要性について著者のコメントをお聞かせ下さい。

(2) 3.4 の (2) の ② キャビテーション数がある値より小さくなれば K_{pi} の 2 次以上の成分はあまり増加しなくなるのは何故でしょうか。

(3) Fig. 10 a において、キャビテーションの拡がり (写真), Virtual Cavity Volume (図) がともに 40° で最大になっていますが、変動圧力は 50° でピークになっています。この“ずれ”はどのような原因でしょうか。

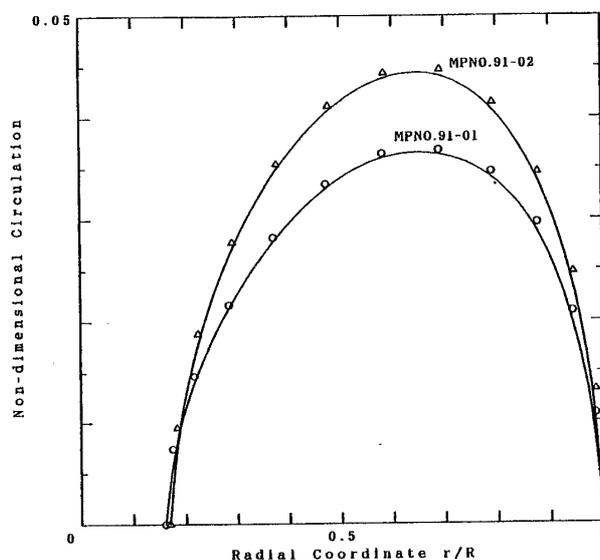


図 1 半径方向の循環分布 (標準状態)

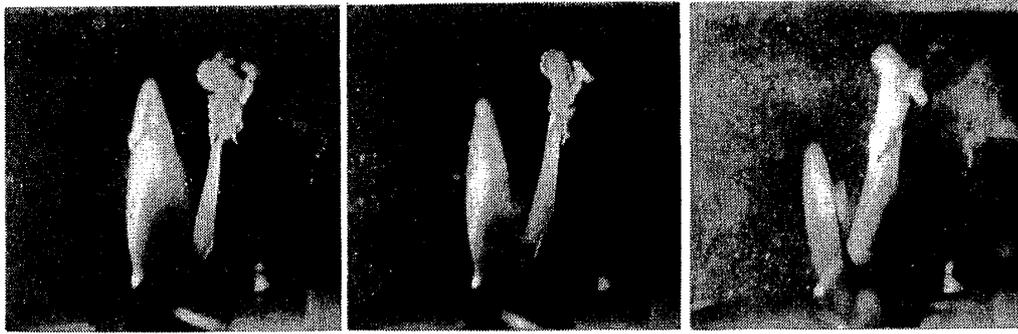


写真1 (a) チップボルテックスキャビテーション (MPNO.91-01:標準状態)

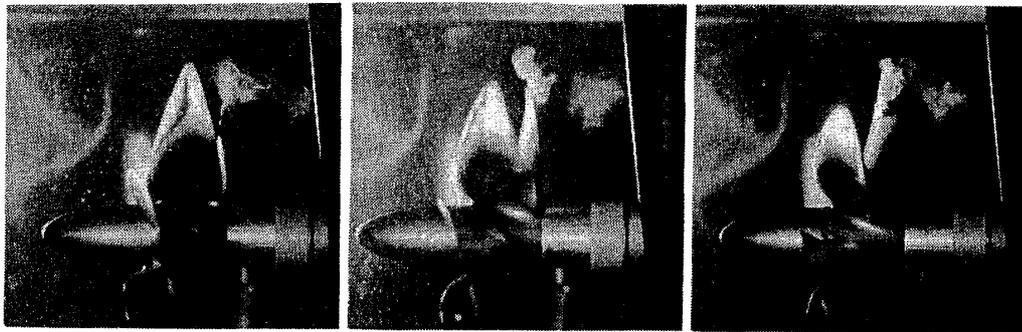


写真1 (b) チップボルテックスキャビテーション (MPNO.91-02:標準状態)

【回答】(1) 一般商船においても、PCC、コンテナ船のような中高速船ではとくに振動、騒音が問題とならないような設計が必要です。船尾変動圧力の1次翼振動数成分については各種の実用的推定法による推定とプロペラスキューによる対策で比較的容易に対応できます。しかし、2次以上の高次船尾変動圧力については現在、船型、プロペラ設計に役立つデータがあまりありません。むずかしいとは思いますが、今後、同様な問題を起こさないために高次変動圧力の発生メカニズム、尺度影響等の解明や実用的推定法、許容基準の確立が必要であると考えます。

変動圧力の高次成分の発生原因には第1報でも述べたようにチップボルテックスキャビテーション以外にいくつかの原因が考えられます。例えば、プロペラ-ハルボルテックスキャビテーションが発生すればかなり大きな高次変動圧力が発生すると予想され、それを避けることが重要です。しかし、実際の設計において今後、問題とすべきは、伴流中におけるチップボルテックスキャビテーションの非定常な体積変化によると考えております。

(2) キャビテーション数が小さくなれば伴流中においてキャビテーション全体が増加するとともに安定化するためではないかと考えます。したがって、さらにキャビテーション数を下げれば1次翼振成分も同様になると思いません。

(3) Virtual Cavity Volume は変動圧力を時間で2階積分したものです。変動圧力が単一の正弦波(次数は任意)でないかぎり、このようなずれは起こります。ご指摘の通り、キャビテーションが最大となる角度より変動圧力が 10° ほど遅れて最小圧力となっており、興味のあることのように思えますが、その原因についてはわかりません。

【討論】岡本 洋君 (1) 原装プロペラ91-01と比較して、-02、-03、-05プロペラの設計に当たっての、夫々考慮したファクターをもう少し具体的に示して下さい。

(2) この様な設計によって、推定されたキャビテーション範囲及び η_0 は模型試験結果と、どの様な対応だったのでしょうか。

(3) 91-01に比して、91-02プロペラは、直径が約5%減少していますので、Tip Clearanceは約2.5%増大しているのでしょうか。これによって、①変動圧力はどの程度影響をうけますか。②推進効率 $\eta = \eta_0 \cdot \eta_h \cdot \eta_r$ はどの様に変りましたか。これより最適直径をどの様に考えるのがよいのでしょうか。

【回答】(1) 石井氏の御質問(1)に対する回答で理解頂ければ幸いです。

(2) MPNO.91-01, 02キャビテーション範囲(最大発生位置付近)とプロペラ単独性能について、模型実験結果と推定値(キャビテーション範囲:非定常揚力面計算、プ

ロペラ単独性能 (MPNO. 91-02 のみ) : 系統試験結果 + 揚力面計算) の比較を図 1, 2 に示しました。参考になれば幸いです。

(3) ご指摘の通り, MPNO. 91-01 と比較して MPNO. 91-02 の直径は 5% 小さく, その結果, Tip Clearance はプロペラ直径の 2.5% (Tip Clearance そのものでは 10%) 増加しています。これによって変動圧力は約 10% 減少すると期待しておりました。

効率についてですが, プロペラ直径を最適直径より小さくして, かつ, 展開面積を増やしていますので, プロペラ単独効率が低下します。船体効率については伴流が少し増えますので, 少し増加します。推進効率としては少し減少します。

プロペラ直径をどの様に選定するかについては, 新造船設計時, 問題発生時, あるいはその他のその時点の状況に応じて決定すべきであると考えます。

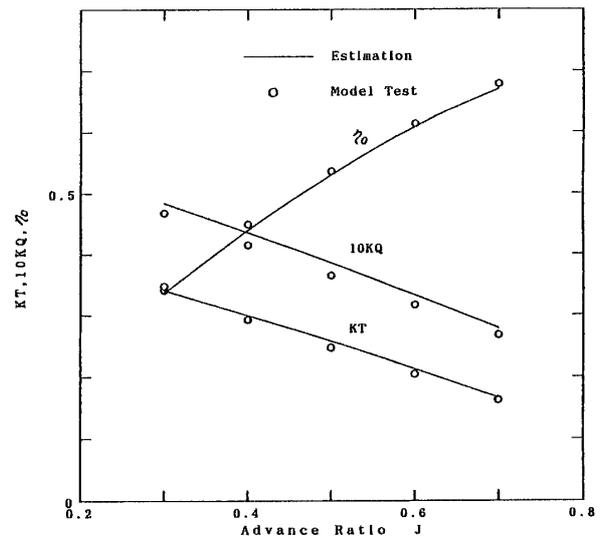


図 2 プロペラ単独性能 (MPNO. 91-02) : 模型実験結果と推定値の比較

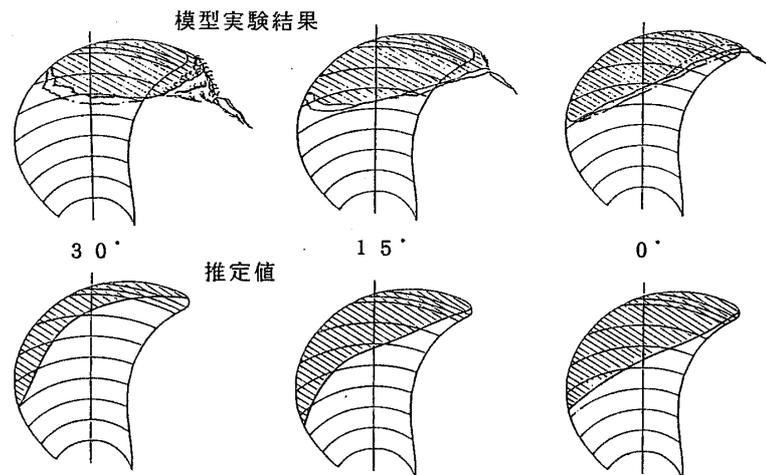


図 1 a キットレション範囲の模型実験結果と推定値の比較 (MPNO. 91-01)

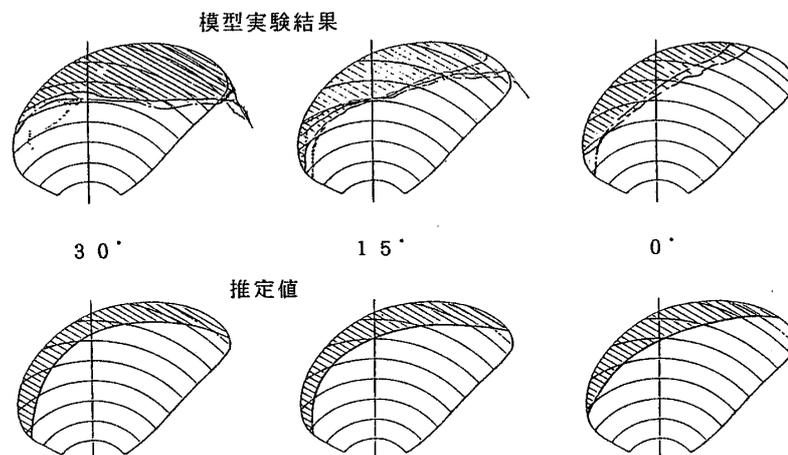


図 1 b キットレション範囲の模型実験結果と推定値の比較 (MPNO. 91-02)