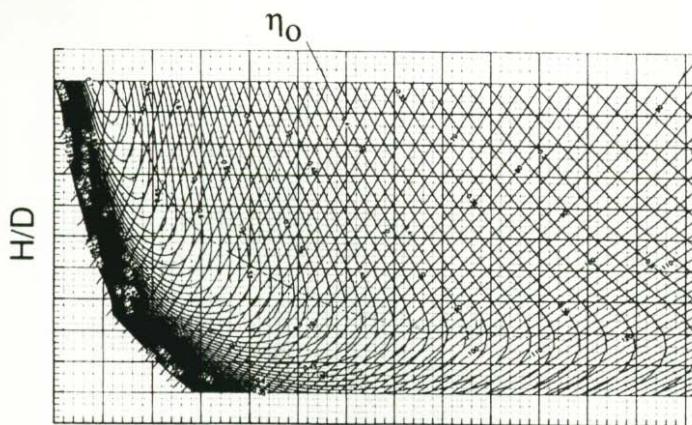


SR 230

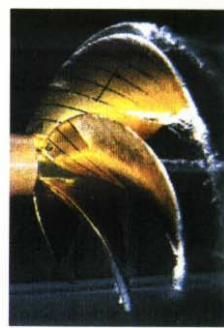
SHIP RESEARCH SUMMARY REPORT

浅没水高馬力プロペラの研究 成 果 報 告 書

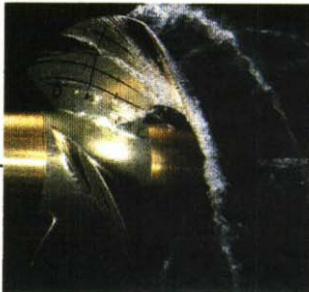
平成11年3月
社団法人 日本造船研究協会



MAU6-1.15

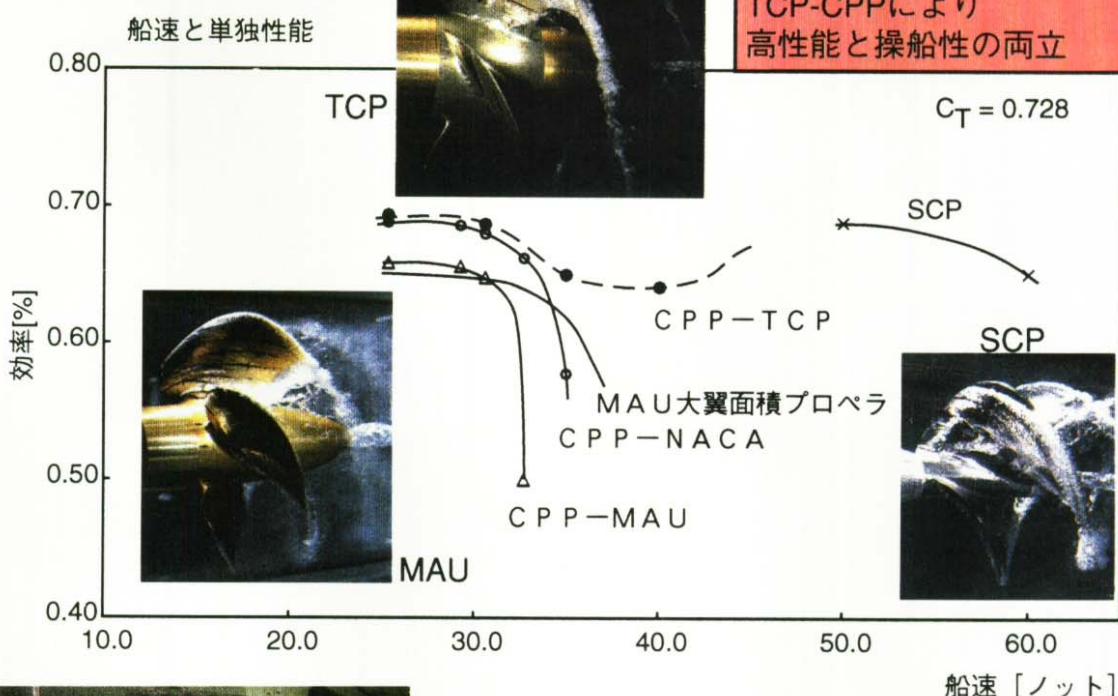


大翼面積比で
効率確保

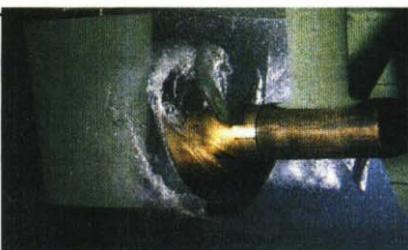


TCPとは
推力低下時でも高効率のプロペラ

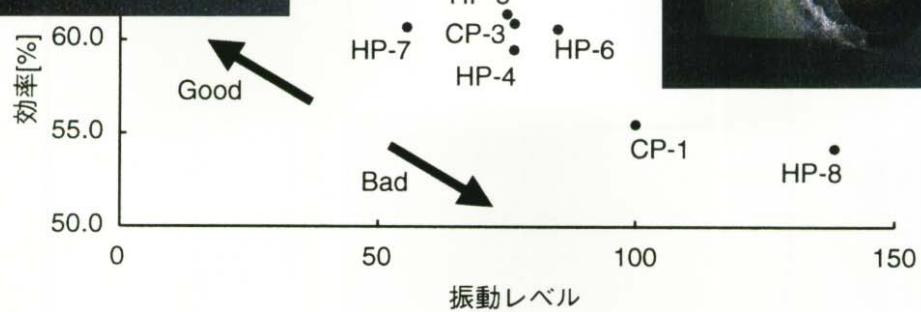
TCP-CPPにより
高性能と操船性の両立



効率と振動



新型；
HP-7



|在来型;
CP-1

TCPで高効率と低振動化の両立 (HP-7 Prop.)

SR230 浅没水高馬力プロペラの研究

要 約

Ship Research Panel 230

"Studies on High-powered Propeller for Shallow Draft Ships"

This research panel started in April 1996 as a three-year project for developing a new type of propeller installed in a shallow-draft high-speed ship such as a large car ferry. Cavitation on the propeller blade and its countermeasures are key points of the present research.

Three different research subjects were studied; those are,

1. Extension of the MAU propeller design chart to larger expanded area ratio region.
2. Development of a new type of propeller, named Trans Cavitating Propeller (TCP).
3. Computational prediction of cavitating propeller performance including propeller-induced fluctuating pressure.

1. 研究の目的および目標

30ノット以上の大型高速カーフェリーのプロペラは、没水深度が浅い上に高馬力化が相乗し、場合によってはトランスクャビテーション (TC) 状態というプロペラ翼面上の大部分が常にキャビテーションで覆われる程になる。このような場合、スラスト・ブレーキダウンという現象が発生し、プロペラ効率のみならず、振動にも問題が生じてくる。

本研究は、このTC状態に対応した従来設計法の拡張と、効率のみならず船尾変動圧力をも対象にしたプロペラの最適化に関する研究を実施し、上記船舶の設計に有益な資料を得ることを目的としたものである。

本研究における具体的な研究目的と目標を下記する。

- (1) TC状態に対応した従来型プロペラ設計法の拡張を実施する。
 - ・適切な翼面積比を決定するために、従来型プロペラの適用限界を明確にする。
 - ・プロペラ初期設計精度向上のために、大翼面積比のBp～δチャートを整備する。
- (2) TC状態に対応した最適な新しいプロペラを開発する。
 - ・TC状態に適した翼形状のコンセプトを考え、新型プロペラを開発する。
 - ・新型プロペラの設計法の基礎を確立すると共に、設計資料を整備する。
- (3) プロペラのキャビテーション性能推定精度を向上させ、設計高度化に寄与する。
 - ・TC状態でのプロペラ単獨特性推定法の推定精度の向上。
 - ・キャビテーション状態の船尾変動圧力推定精度の向上。

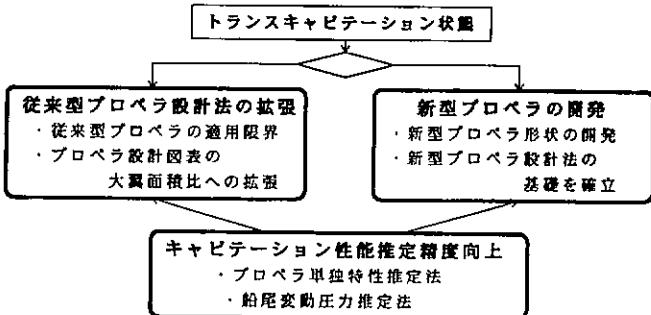


図1 研究目標の相関関係

2. 研究の成果

本研究の成果は下記の通りである。

(1) 下記 2 点の従来型プロペラ設計法に関する図表を完成させた。これにより、厳しいキャビテーション条件に対して適切な翼面積比の選定が可能となり、また大翼面積比プロペラの設計効率化が図れることとなった。但し、CPPタイプのプロペラはこの成果を享受出来ない。

(a) バリル・キャビテーション図表上での最新の従来型プロペラの適用限界線明示。

(b) 5 翼、6 翼MAUプロペラの大翼面積比設計図表 ($B_p \sim \delta$ チャート)

(2) 従来型プロペラ (CP) とスーパー・キャビテーション・プロペラ (SCP) の間隙を埋める優れたキャビテーション性能を有するトランスキャビテーション・プロペラ (TCP) を開発できた。また、設計法の基礎を確立し、種々の設計資料と設計指針をも整備した。

このTCPの開発によって、従来のCPPでは対応できない厳しいキャビテーション条件にもCPPの適用が可能となつたのみならず、逆にFPPの従来型大翼面積プロペラの代わりに翼面積比の小さいTCPを採用することによる高効率化が可能となつた。

(3) キャビテーション状態のプロペラ単独特性理論的推定法、および船尾変動圧力推定法の推定精度向上を図り、下記のように着実に成果を上げた。

単独特性推定に関しては、スラストブレークダウン前後の性能変化が推定可能となり、TCPの設計精度を向上させ、また、CPでの危険回避に寄与可能となつた。

船尾変動圧力の推定精度はまだ不十分ではあるが、プロペラ形状差の影響に関する推定精度は向上し、また、問題点の洗い出しや基礎的調査により今後の方向性が示された。

上記のように、本研究部会の大きな目標である「従来型プロペラ設計法の拡張」とトランスキャビテーション状態に適した新型プロペラ、即ち「トランスキャビテーション・プロペラの開発」を達成することが出来た。

特にTCPは、まだ課題が残っているものの、巻頭口絵中段に示すようにCPとSCPの間隙を埋める新しいタイプのプロペラであり、今後の発展により、今までプロペラ推進が不可能であった高速船舶でもプロペラの適用を実現化するものとなろう。

はしがき

本成果報告書は、日本財團の補助事業として、日本造船研究協会 第230研究部会において、平成8年度から平成10年度の3カ年計画で実施した「浅没水高馬力プロペラの研究」の成果を取りまとめたものである。

第230研究部会 委員名簿

(敬称略、順不同)

| | |
|------|---|
| 部会長 | 加藤 洋治 (東京大学) |
| 代表幹事 | 副島 俊二 (三井造船) |
| 委員 | 中武 一明 (九州大学) 山口 一 (東京大学) 右近 良孝 (船舶技術研究所) 工藤 達郎 (船舶技術研究所) 藤野 良亮 (石川島播磨重工業) 光武 英生 (石川島播磨重工業) 佐々木紀幸 (住友重機械工業) 青野 健 (住友重機械工業) 石井 規夫 (三井造船) 岡本 幸彦 (日本鋼管) 村上 光功 (日立造船) 鈴木 一芳 (日立造船) 小田杜茂一 (ナカシマプロペラ) 大内 一之 (ナカシマプロペラ) 大島 明 (三菱重工業) |

第230研究部会幹事会 委員名簿

(敬称略、順不同)

| | |
|----|--|
| 主査 | 副島 俊二 (三井造船) |
| 委員 | 加藤 洋二 (東京大学) 中武 一明 (九州大学) 山口 一 (東京大学) 石井 規夫 (三井造船) 右近 良孝 (船舶技術研究所) 工藤 達郎 (船舶技術研究所) 佐々木紀幸 (住友重機械工業) 藤野 良亮 (石川島播磨重工業) 岡本 幸彦 (日本鋼管) |

討議参加者 (敬称略、順不同)

| | |
|---------------|------------------|
| 川北 千春 (三菱重工業) | 山磨 敏夫 (ナカシマプロペラ) |
| 豊田 真 (東京大学) | 板谷 芳樹 (ナカシマプロペラ) |

事務局 (日本造船研究協会) 山内康勝・武田晴雄・村上好男

目 次

| | |
|----------------------------------|----|
| 1. 研究の目的および目標 | 1 |
| 2. 研究内容全体概要 | 2 |
| 3. 従来型プロペラの設計法拡張 | 3 |
| 3.1 従来型プロペラ設計図表の大翼面積への拡張 | 3 |
| 3.2 従来型プロペラの改良限界と適用限界 | 4 |
| 4. トランスクャビテーション・プロペラの開発 | 5 |
| 4.1 2次元翼断面形状の研究 | 5 |
| 4.2 TCPの開発研究 | 6 |
| 4.3 TCP設計法に関する研究 | 7 |
| 5. キャビテーション性能推定精度向上に関する研究 | 8 |
| 5.1 キャビテーション状態のプロペラ単独特性推定法 | 8 |
| 5.2 キャビテーション状態の船尾変動圧力推定法 | 9 |
| 6. 得られた成果のまとめ | 10 |
| 7. 成果の活用 | 10 |

1. 研究の目的および目標

物流のモーダルシフトによる海上交通高速化の需要が増加し、大型カーフェリーの高速化が進みつつあり、本研究計画時にも30ノット弱の大型高速カーフェリーが就航した。また、これと平行して高速フェリー、高速カーフェリーの大型化も進みつつある。

このような船舶の実現には、経済性、即ち運航採算が成立するかどうかが一番大きな要素であり、そのためにも、船体設計においては船体形状の低抵抗化及び推進器の高効率化がキーポイントとなる。

一方、上記に立ちはだかるプロペラ側の大きな問題として、大型カーフェリー等は港湾条件からプロペラ直径が制限され、且つ浅没水深度にならざるを得ないことがある。即ち、この浅没水度と高速化に伴う馬力増加が相乗し、場合によっては、トランスキビテーション（TC）状態というプロペラ翼面上の大部分が常にキャビテーションで覆われる程の非常に厳しいキャビテーション条件のプロペラとなる。このような場合、スラスト・ブレーキダウンという現象が発生し、プロペラ効率のみならず、船尾変動圧力の増大による船体振動面への影響も大きく、船体の補修や運航自体にも影響を及ぼす可能性を含んでいる。

過去においては、通常範囲のキャビテーションが発生するプロペラや、逆に翼面上をキャビテーションが完全に覆うスーパーキャビテーション（SC）状態のプロペラの研究は各々SR206やSR214でなされてきたが、その中間段階であるTC状態の研究例は問題の難しさから世界的に見ても非常に少ない。

本研究は、このTC状態に対応した従来型プロペラ設計法の拡張と、効率のみならず船尾変動圧力をも対象にしたプロペラの最適化に関する研究を実施し、上記船舶の設計に有益な資料を得ることを目的として、平成8年度から3年間計画で開始したものである。

上記TC状態に対応する研究の大きな柱として、次の3点を設定した。

- (1) 従来型プロペラ設計法の拡張
- (2) TC状態に適した新型プロペラの開発
- (3) プロペラキャビテーション性能推定精度の向上

従来型プロペラ設計法ではキャビテーション条件を緩和させる一般的な対策としてプロペラ翼面積を増大させる手法を通常採用するが、必ずしも大翼面積比プロペラに対応した設計図表が完備されておらず、その設計作業効率が非常に悪くなるというのが現状である。上記(1)は大翼面積比プロペラの設計資料を整備することを目的としたものであり、以下の2点を具体的な目標にした。

- ・従来型プロペラの適用限界を明確にし、適切な翼面積比の決定資料を作成する。
- ・プロペラ初期設計精度向上のために、大翼面積比率のBp～δチャートを整備する。

上記(2)に関しては、TC状態でも効率を高めるための具体的なプロペラ形状のコンセプトを考案し、また、実用性の観点から強度やエロージョン、更には振動に大きな影響を及ぼす船尾変動圧力まで対象とした設計法と設計資料の整備を具体的な目標にした。

一方、TC状態という非常に厳しい条件で作動するプロペラに対応するためには性能予測が非常に重要なポイントとなるが、理論的推定手法はTC状態での研究例が非常に乏しいのが現状である。しかし、解決するのが難しいから何時までも全てを実験に頼るわけにはいかず、設計の高度化という観点からも理論的手法の推定精度向上に関する研究を併せて実施することとした。

2. 研究内容全体概要

本研究部会での研究内容は図2.1に示す様に、次の3つの大きな枠に別れる。

- (1) 従来型プロペラ (CP) を対象にした研究
- (2) 新型プロペラの開発研究
- (3) プロペラキャビテーション性能推定法の研究

(1) 従来型プロペラの研究

CPの研究の具体的な目標の一つである大翼面積プロペラ設計図表を整備するための手法として、6個の大翼面積比プロペラ模型を設計製作し、ノンキャビ状態のプロペラ単独特性試験と高精度な理論的単独特性推定手法を併用して図表を完成させることとした。

CPの適用限界を明確にするため、上記大翼面積型プロペラに、新型プロペラ開発時の比較対象を目的に設計したCP模型を加えてキャビテーション状態のプロペラ単独試験を実施した。また、CPの適用限界をスラスト・ブレークダウン現象によって悪影響が及ばない状態と定義し、データ解析と整理によって適用限界を明確にすることとした。

この際、CPのキャビテーション性能が最新の技術でどこまで改善され得るかに関しても同時に検討し、設計資料の一つとして役立てることとした。

(2) 新型プロペラの開発研究

新型プロペラ開発に当たっては、TC状態でのキャビテーション発生状況から翼断面形状の概念を固め、その概念から導かれる最適な翼断面形状の基礎的研究と、翼断面のプロペラへの適用検討を図ることとした。

上記研究と並行して、新型プロペラに関する設計法の基礎を確立することとした。一つは過去のSR214等の成果を導入した設計手法を見直し、新型プロペラへの適用を図ることであり、もう一つは、新型プロペラの設計資料として如何なるものが必要であるかを検討し、模型試験等で可能な限りのデータの収集を図ることとした。

(3) キャビテーション発生状態のプロペラ性能推定法の研究

検討対象としては、トランスキキャビテーション状態でのプロペラ単独特性推定精度向上、および船尾変動圧力の推定精度向上に限定することとした。但し、船尾変動圧力の理論的推定手法に関しては世界的にも研究例が非常に少ないと、また、推定内容の詳細な検証には、翼面上のキャビテーション厚さ等の詳細な計測データが必要なことから、研究対象としては通常のキャビテーション状態に関する過去の実験結果を選定することとした。

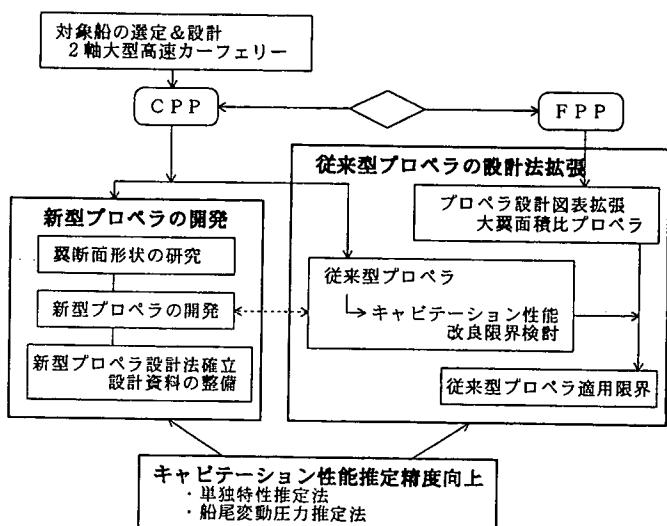


図2.1 研究内容概要図

3. 従来型プロペラの設計法拡張

トランスキャビテーション状態を避けるための従来型プロペラ設計の効率化と高精度化を目的として、従来型プロペラ（CP）の適用限界を明確化する研究と、設計図表の大翼面積比プロペラへの拡張研究を実施した。

3. 1 従来型プロペラ設計図表の大翼面積比への拡張

プロペラを高精度に且つ効率良く設計するためには、設計条件に見合うプロペラ効率と主要目、即ち翼数、直径、翼面積比、およびピッチ比をプロペラ設計図表を使って初期設計した後、詳細設計に移るのが一般的である。このプロペラ主要目の初期選定の精度が悪いとその後の詳細設計の段階で大きな後戻り作業が生じ、設計作業効率の悪化を招く原因となる。

しかし、国内で広く利用されているMAUプロペラの $B_p \sim \delta$ 設計図表は大翼面積比のものが整備されておらず、大翼面積比プロペラの設計には詳細設計段階で使われる理論的設計ツールを最初の初期設計の段階でもシリーズ的に使う必要性が生じる。この設計効率改善を目的として、MAUプロペラを対象として大翼面積比の設計図表を整備することとした。

翼数の選定に当たっては、大翼面積比のプロペラは元々キャビテーション性能を改善する目的であり、キャビテーションと密接な関係のある船尾変動圧力には翼数の多い方が有利であるということを考慮し、5翼、6翼プロペラを対象とすることに決定した。

精度の高い設計図表を作成するために、従来は膨大な数の模型プロペラでの試験を必要としたが、今回はキーポイントとなる数点のプロペラで模型試験を実施するにとどめ、最新の理論的単独特性推定法を使ったシリーズ計算でデータの補完を行う方法を採用した。本研究部会参加機関保有プログラムの中から選んだVLM法でのノン・キャビ状態のプロペラ単独特性推定結果は、図表を作成するために必要な領域で模型試験結果と非常に良い一致度を示し、理論的推定法との併用は設計図表作成に何ら問題が生じないことを確認している。

このようにして作成した $B_p \sim \delta$ 図表は、翼面積比0.95と1.1の5翼MAU、および翼面積比1.0と1.15の6翼MAUWであり、図3.1にその1例を示す。

この大翼面積比プロペラ設計図表の完成により、今後大翼面積比プロペラ設計の高精度化および作業の効率化が図れることとなった。

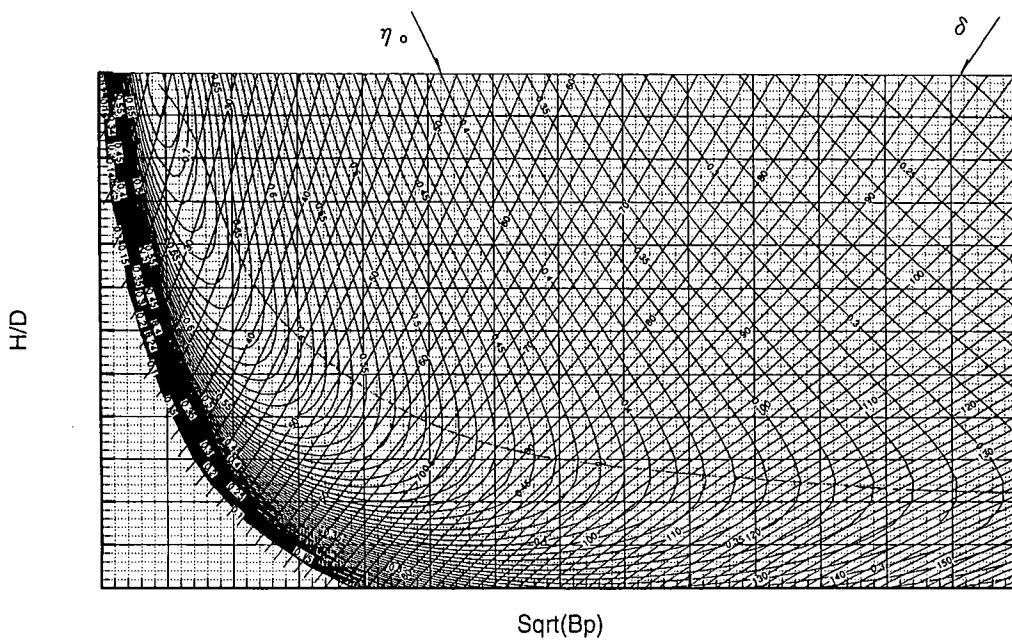


図3.1 $B_p \sim \delta$ 図表例

3. 2 従来型プロペラの改良限界と適用限界

巻頭口絵上段の写真および図3.2に6翼MAUプロペラでのキャビテーション単独試験結果を示す。キャビテーション条件が厳しくなると共に、プロペラ翼端側で発生したキャビテーションの翼面を覆う面積が徐々に増え、キャビテーション長さが翼弦長を越えるまで発達するとプロペララストヒトルクが急激に減少し、効率も悪くなることがこの図から理解できる。

一方、CPは、一般的にはノン・キャビ状態の特性を前提として使用することから、CPが与えられた設計条件に適用可能かどうかはキャビテーション発生状態でノン・キャビ特性が維持出来るかどうかが一つの判定条件となる。

本研究部会では、前述の大翼面積プロペラを含む9個のプロペラについてキャビテーション状態単独試験を実施し、結果を解析整理してCPの適用限界を明確にすることとした。ノンキャビ状態でのプロペラ単独効率がスラスト・ブレークダウンによって効率が3%減少した状態を適用限界の判定条件とした場合の結果を図3.3に示す。

比較のために従来提案されているLerbs、およびSSPAの線をも示しているが、MAUの限界線はSSPAの線よりキャビテーション的に厳しい側に寄っており、またNACA翼断面を使った最新のプロペラ（CP-1、CP-3）は更に優れたキャビテーション性能を示している。

尚、CP-3は、CPのキャビテーション性能の改良限界を調べることを目的とし、本研究部会でCP-1を原型として最新の技術でキャンバーおよびピッチ分布等を修正したものである。この結果、狙い通りスラスト・ブレークダウンの限界点は改善されたが、その効果はわずかであり、現状の技術ではCP-1で代表される最新のプロペラは改良限界に近いと考えられる。

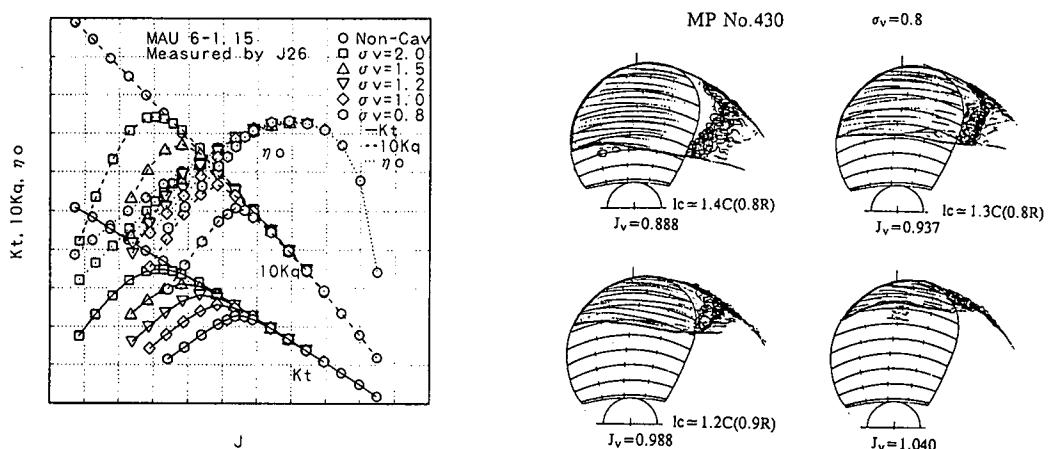


図3.2 キャビテーション状態単独試験結果（6翼MAU）

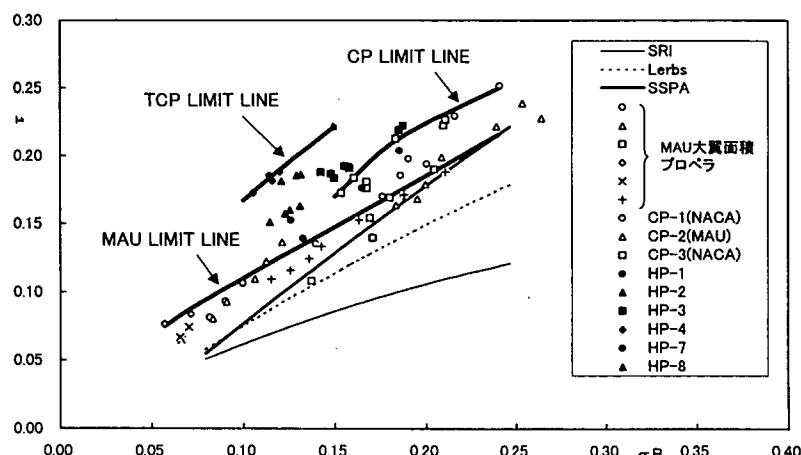


図3.3 プロペラ適用限界（判定条件：効率3%減）

4. トランスキャビテーション・プロペラの開発

スラスト・ブレークダウン現象の発生するトランスキャビテーション (TC) 状態においてもプロペラ効率が悪化せず、船尾変動圧力の悪化を極力抑える新型プロペラを開発し、また、その設計法を検討した。

この新型プロペラは図 4.1 に示すように、下記方針のもとに従来型プロペラとスーパーキャビテーション・プロペラの概念をハイブリッド化したプロペラである。

- キャビテーション発生を抑えられないプロペラ翼端部では積極的にキャビテーションを発させ、なおかつ性能の優れたスーパーキャビテーション翼断面 (SC翼断面) を採用する。

- プロペラボス近傍ではキャビテーション発生を極力抑えるよう考慮したエアロフォイル翼断面 (NC翼断面) を採用する。

本研究部会ではこの新しいコンセプトのプロペラを「トランスキャビテーション・プロペラ (TCP)」と称することとした。

4. 1 2次元翼断面形状の研究

上記TCP用の翼断面形状として、NACA翼型をNC翼として、また、SR214で開発されたSRJN翼型をSC翼として採用する案が考えられる。

本研究部会では上記翼断面形状とは別に、新たな翼断面形状の開発も試みた。この開発に当たり、NCおよびSCという性格の異なるそれぞれの2次元翼型に対する理論的な設計法と、オフ・デザイン状態における性能を推定する理論も開発し、模型試験結果との詳細な比較でその精度を確認した。

新たに開発された翼型はUT-NC翼型、UT-SC翼型と称するものであり、UT-NC翼型は広いキャビテーションパケットと高揚抗比の性能を有しているので、従来型プロペラ用の翼断面としても応用できる。また、UT-SC翼型は高揚抗比で、発生するキャビティも薄いので変動圧力低減にも効果がある。

上記2種類の翼型をプロペラに応用するに当たり、設計法の確立と設計の効率化を目的として、作動条件および強度条件等の設計条件を変更した92個のUT-NC翼型、および150個のUT-SC翼型をシリーズ設計し、更にその結果の数式表現を行い設計ツールへの組み込みを考慮した。シリーズ設計された翼形状例を図 4.2 に示す。

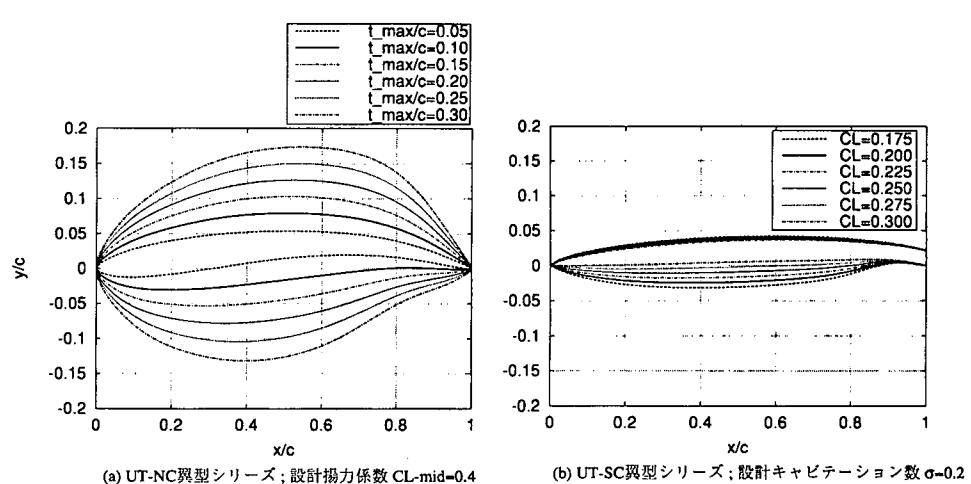
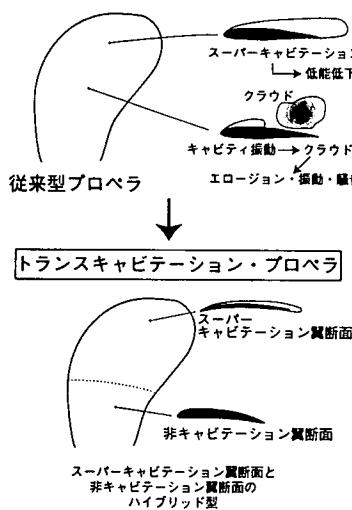


図 4.1 TCP概念図

図 4.2 UT-NC翼、UT-SC翼シリーズ形状例

4. 2 TCPの開発研究

TCPを具体的に検討し開発するための対象船型として大型高速カーフェリーを選定し、4翼CPPのプロペラ設計条件にて、TCP 8個、および比較対象としてのCP 3個を設計した。これら各プロペラは、図4.3に示すように翼断面形状の影響、設計速力の影響、更に各種改良要素等の調査を目的としてシリーズ化したものである。

上記模型プロペラの単独試験や船後状態での各種模型試験によって各プロペラの性能を比較評価した結果、下記のようにトランスキャビテーション状態で優れた性能を有するTCPが開発されたと言える。

(1) プロペラ単独効率

図4.4の30ノットと35ノットでの比較から解るように、高速化や荷重度(CT)増加によってキャビテーション条件が厳しくなるほどTCPの優位性が高くなる。

(2) 船後状態プロペラ効率と船尾変動圧力

船後35ノット状態での各プロペラ性能比較を巻頭口絵下段に示す。斜流影響により、軸心下方でキャビテーションの少ない改良型CP-3が効率で意外と善戦しているが、ほぼ同じ効率で船尾変動圧力レベルの低いTCP(HP-7)が開発された。また、設計速度を30ノットとしたCPの翼厚は35ノット条件では相対的に薄いことを考慮すべきで、TCPの優位性は巻頭口絵下段に示す以上である。

(3) 総合評価

巻頭口絵中段は本研究部会での全ての模型試験結果とSR214の成果から推定されたSCPの結果をも併せて示したものであるが、今回のTCP開発によってCPとSCPの隙間を埋めることができたことを明瞭に示している。

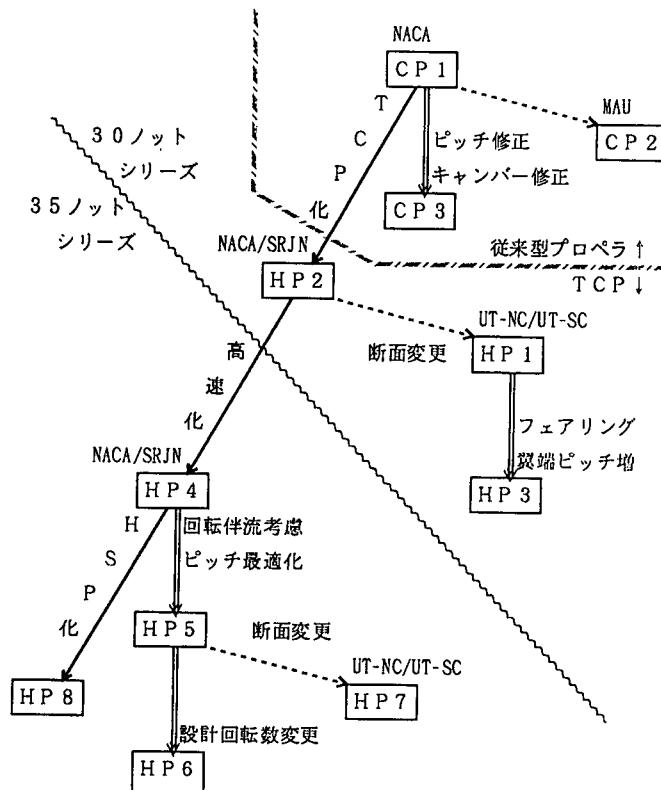


図4.3 プロペラ相関図

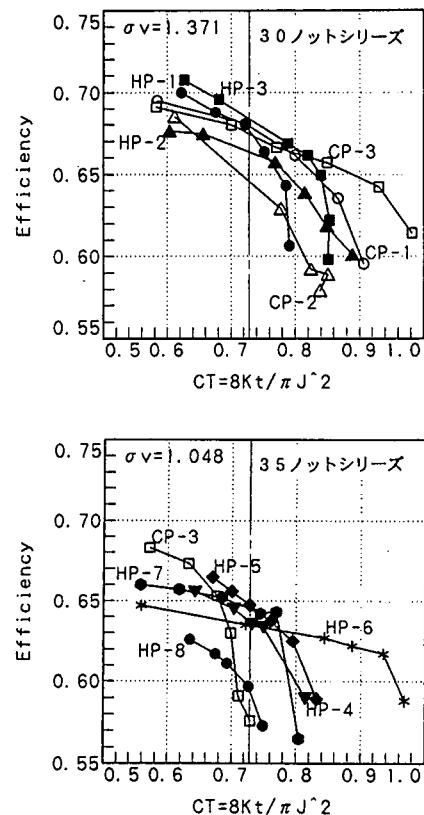


図4.4 プロペラ単独効率評価

4. 3 TCP設計法に関する研究

今回開発されたTCPを今後も種々の設計条件に対応可能とする設計法の基礎を確立した。また、今後の具体的設計・改良に供するための資料を今回得られた莫大なデータを解析整理してまとめると共に、ノウハウを設計指針としてまとめた。

開発されたTCPの設計法概要を図4.5に示す。新型プロペラの初期設計ルーチンには、4.1節で記したUT-NCおよびUT-SC翼断面の数式表現化されたシリーズ設計結果を組み込んでおり、新しいプロペラの設計毎に複雑な特性推定計算を実施することなく設計条件に必要な揚抗比と強度を満足する翼断面形状を実現可能としている。勿論、NACAとSRJNの翼断面の組み合わせも選択可能としている。

揚力線理論を使って初期設計されたプロペラ形状は、SC-VLM3（揚力面理論）でキャビテーション性能を推定し、得られた特性が設計条件に一致しない場合は初期設計結果を修正する。但し、この性能推定法は次章で記すようにまだ十分な推定精度はなく、模型試験での確認を必要とする。

図3.3のパリルのキャビテーション・チャート上に、今回の模型試験データを整理して得られたTCPの適用限界をも併せて示した。但し、この限界線はあくまでも今回の設計条件から得られた範囲の線であり、TCPはSCPへと繋がる性格を有していることから明確な適用限界線というものは存在せず、CPの適用限界とCPの適用可能条件との間がTCPの適用範囲と考えるべきであろう。

この他、TCPでの翼輪郭およびスキーの効果、NC翼とSC翼の連結部分の取り扱い方、NC翼部分でのエロージョン対策、有限要素法を使った翼強度検討結果から得られたノウハウ等多くの知識と設計指針を得ることが出来た。

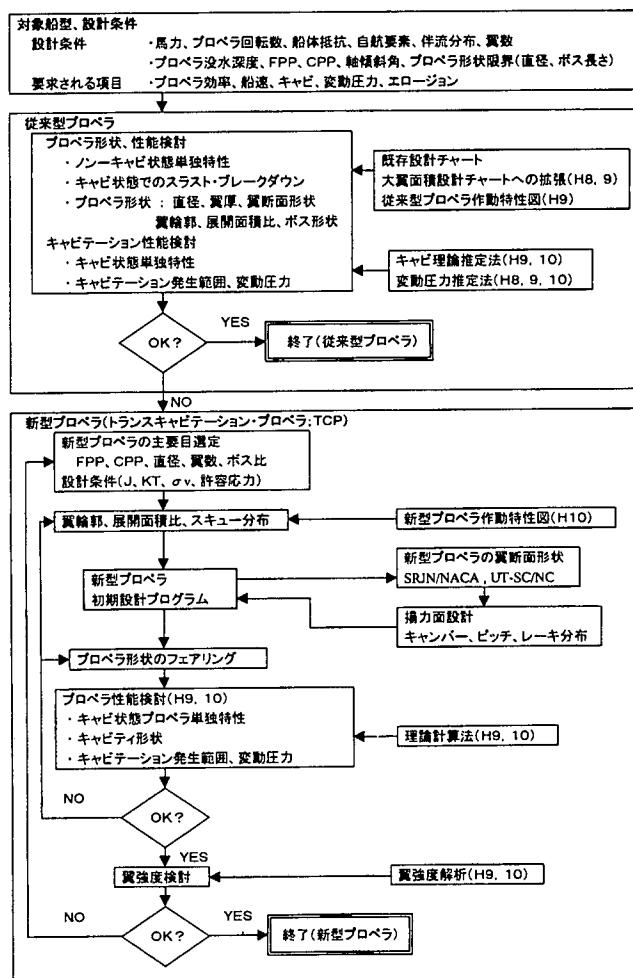


図4.5 TCP設計概略フローチャート

5. キャビテーション性能推定精度向上に関する研究

キャビテーション発生状態でのプロペラ性能推定法は、TCP設計法として重要なキーポイントであるだけでなく、CPでのスラスト・ブレークダウン現象発生の予測、有害なキャビテーション発生予測、および船尾変動圧力推定のために非常に重要な役割を果たす。

上記重要性があるにも拘わらず、理論的なキャビテーション性能推定法は世界的レベルにおいてもまだ十分な精度を有するとは言えない。そこで、本研究部会では、先ず参加機関保有の最新推定法の現状を共通の対象プロペラで確認し、問題点の洗い出しを行なった上で推定精度向上の研究を実施した。

5. 1 キャビテーション状態のプロペラ単独特性推定法

推定対象プロペラとして、本研究部会で実施した大翼面積MAUプロペラ1個とCPP型CP2個を選定し、スラスト・ブレークダウンの発生する作動点近辺に焦点を絞り検討することとした。推定法は表5.1に示す5機関保有の既存手法である。

研究スタート時の各方法による推定結果は、表5.1の問題点の項目に示すとおりで様々な結果になっており、あるプロペラでは実験結果の傾向を捉えていても他のプロペラでは傾向さえ捉えていない等、概して問題が多かった。但し、スラスト・ブレークダウン現象の発生に関する推定精度は何れの方法も比較的良い。

推定法改良研究の成果の1例を図5.1に示す。この例ではスラスト係数は傾向的にも定量的にも実験結果と一致するようになったが、トルク係数はまだ定量的に問題があり、更に改良の必要性がある。他の方法でも、確実に推定精度は向上しているが、定量的にはまだ問題が多く、今後の改良が期待される。

また、基礎的な研究として非線形3次元キャビティ計算法の検討が矩形翼、後退翼、および梢円翼に関して試みられ、今後のプロペラへの適用とキャビテーション性能推定精度の向上が期待される。

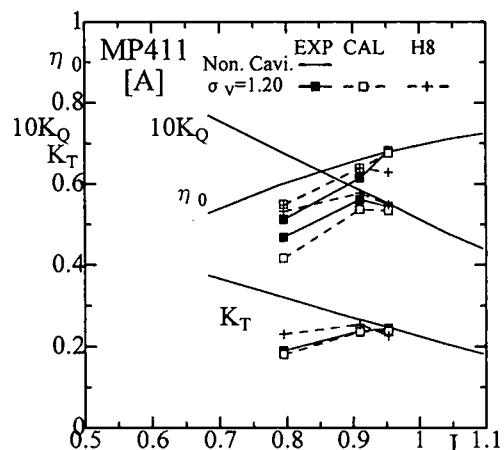


図5.1 プロペラ単独特性推定結果

表5.1 単独特性推定法の問題点と改良点

| 機関 | プロペラ単独特性推定法 | 問題点 | 改良点 |
|----|---------------------------------------|----------------------------|--------------------------|
| A | SC-VLM3 (渦格子法(VLM)と吹き出し分布を用いる方法) | キャビティが小さいと収束が悪い | ・キャビティ無しの状態から計算を開始させる |
| B | UPCA91 (変形揚力面理論に基づく非定常キャビテーション計算法) | 翼表面圧力分布が安定しない | ・繰り返し計算可能にする |
| C | VLMと吹き出し分布を用いる方法 | 発生キャビティが少なく推力低下を小さく推定してしまう | ・翼表面分割数増加 ・収束条件を厳しく設定 |
| D | 等価2次元翼と 線形キャビテーション理論を組み合わせた方法 | 発生キャビティが少なく推力低下を小さく推定してしまう | ・翼表面分割数増加 ・境界条件を厳密化 |
| E | 等価2次元翼と 非線形キャビテーション計算法を組み合わせた方法 | 発生キャビティが多く推力低下を大きく推定してしまう | ・3次元キャビティ計算法を開発 |

5. 2 キャビテーション状態の船尾変動圧力推定法

最近の研究の動向としては、変動圧力推定法の前提となるキャビテーション推定法の研究に重点が置かれたため、ここ10年間ほど新しい船尾変動圧力推定の理論的方法はほとんど発表されていない。推定精度もキャビテーション推定精度と比べて格段に悪いと考えられており、設計の場では約20年ほど前に発表された実績データベースの経験式を使った簡易推定法が使われており、精度ある予測のためには模型試験を実施しているのが現状である。

今回検討対象としたデータは、計測データの豊富さの観点から運輸省船舶技術研究所が青雲丸を対象に実施したCPとハイスクュープロペラ（HSP）の2種の模型試験結果を選定した。また、推定法は表5.2に示す5機関保有の既存手法に簡易推定法を比較対象として加えた。

改良前の理論的な手法での一次変動圧力推定結果（H9年度）は図5.2に示す様に、推定手法によってばらつきが多く、プロペラ差の優劣さえ反対に推定してしまう例もあった。特にHSPの場合の推定誤差が大きい。一方、簡易推定法の結果が最も計測値に近い結果を与えていたが、この方法はプロペラの詳細な形状影響を考慮していないことから、SC翼型のように通常プロペラから極端に異なる翼形状等を採用している場合は推定精度の落ちる可能性があることに注意を払わねばならない。

理論的推定手法の改良後（H10年度）は、概して各方法とも計測結果に近づく方向であり、改良の成果は上がっていると言える。また、キャビティ・ボリュームとして計測結果を使った基礎的研究でも、HSPの場合に推定精度が悪いことはあるが、変動圧力の推定にキャビティのボリューム変化だけでなく生成・消滅位置が大きな影響を与えることが解る等貴重な基礎的知識を得ることが出来た。

表5.2 船尾変動圧力推定法の問題点と改良点

| 機関 | 変動圧力推定方法 | | | 問題点 | 改良点 |
|-----------------------|---------------|--------------|-----------|-----|------------------------------|
| | プロペラ特性 | キャビティ体積 | キャビティ体積配置 | | |
| A 非定常QCM | 2次元キャビテーション理論 | Huseの方法 | | | キャビティ長さを揚力等価法から計測値に変更した |
| B 非定常QCM | 2次元キャビテーション理論 | 各r/Rのキャビティ中央 | | | 非定常キャビテーション解析時の△θを1/10にした |
| C 3次元非定常キャビテーション理論 | | キャビティ形状を考慮 | | | キャビテーション解析時にプロペラが回転する回数を増やした |
| D 3次元準定常キャビテーション理論 | | Huseの方法 | | | 翼面の分割数を増やしキャビティ体積の推定精度を上げた |
| E 非定常揚力面理論 | 計測値 | 0.9Rの翼コード中央 | 計測値の数が不足 | | キャビテーションの生成・消滅位置を考慮した体積を用いた |

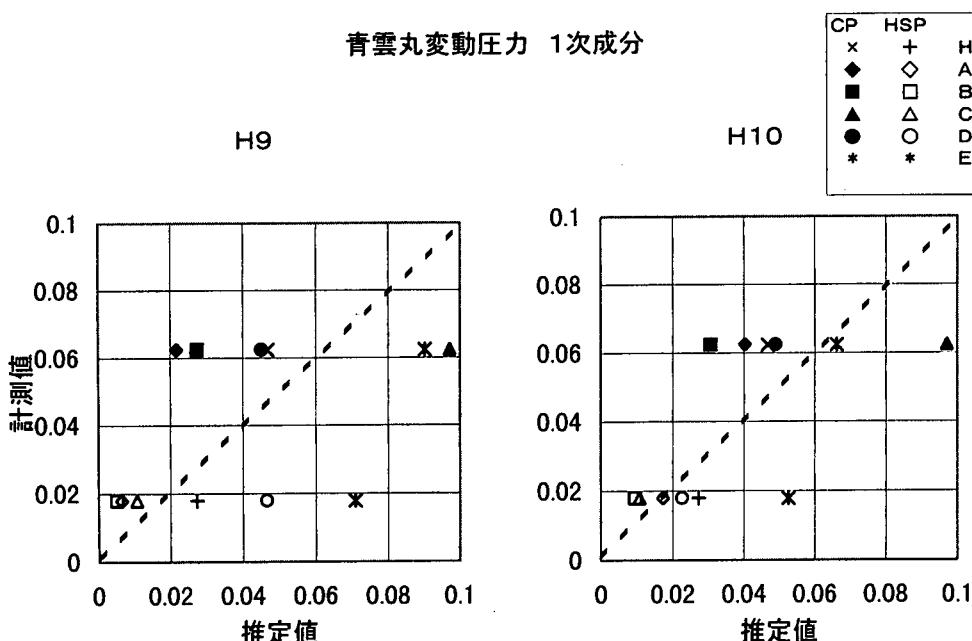


図5.2 船尾変動圧力推定法の問題点と改良点

6. 得られた成果のまとめ

3年間に渡って実施された本研究部会の研究成果は下記の通りである。

(1) 下記2点の従来型プロペラ設計法に関する図表を完成させた。これにより、厳しいキャビテーション条件に対して適切な翼面積比の選定が可能となり、また大翼面積比プロペラの設計効率化が図れることとなった。但し、CPPタイプのプロペラはこの成果を享受出来ない。

- (a) バリル・キャビテーション図表上での最新の従来型プロペラの適用限界線明示。
- (b) 5翼、6翼MAUプロペラの大翼面積比設計図表 (B_p~δチャート)

(2) CPとSCPの間隙を埋める優れたキャビテーション性能を有するトランスキャビテーション・プロペラ (TCP) を開発できた。また、設計法の基礎を確立し、種々の設計資料と設計指針をも整備した。

このTCPの開発によって、従来のCPPでは対応できない厳しいキャビテーション条件にもCPPの適用が可能となつたのみならず、逆にFPPの従来型大翼面積プロペラの代わりに翼面積比の小さいTCPを採用することによる高効率化が可能となった。

(3) キャビテーション状態のプロペラ単獨特性理論的推定法、および船尾変動圧力推定法の推定精度向上を図り、下記のように着実に成果を上げた。

単獨特性推定に関しては、スラスト・ブレークダウン前後の性能変化が推定可能となり、TCPの設計精度を向上させ、また、CPでの危険回避に寄与可能となつた。

船尾変動圧力の推定精度はまだ不十分ではあるが、プロペラ形状差の影響に関する推定精度は向上し、また、問題点の洗い出しや基礎的調査により今後の方向性が示された。

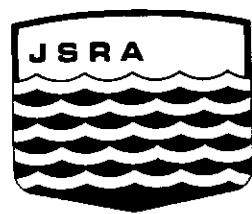
上記のように、本研究部会の大きな目標である「従来型プロペラ設計法の拡張」とトランスキャビテーション状態に適した新型プロペラ、即ち「トランスキャビテーション・プロペラの開発」を達成することが出来た。

特にTCPは、まだ課題が残っているものの、巻頭口絵中段に示すようにCPとSCPの間隙を埋める新しいタイプのプロペラであり、今後の発展により、今までプロペラ推進が不可能であった高速船舶でもプロペラの適用を実現化するものとなろう。

7. 成果の活用

浅喫水高馬力の大型高速カーフェリーを対象にして、従来型プロペラの設計法拡張と新しいトランスキャビテーション・プロペラの開発を研究したが、本研究部会の成果は小型高速艇・高速船をはじめ、超大型コンテナ船等の大型高速商船にも活用することが可能である。

このことから、高速貨物輸送の船舶へのモーダルシフトを加速させることのみならず、適用可能なプロペラ種類の選択範囲が増え、船舶のスピードアップ、ないしは燃費向上による経済的効果への波及効果が期待出来る。



The Shipbuilding Research Association of Japan