

キャビテーション試験における最近の試み

尾崎 伯哉* 三船 正純**

Hakuya Ozaki

Masazumi Mifuneo

プロペラが起こすキャビテーションは、その初生／成長／崩壊／消滅という一連の事象が、瞬時に変化する急激な流体现象の一つである。そのため元来、その計測は容易ではなく、これを試験水槽内で観察／計測するキャビテーション試験は、古くから観測手法に様々な工夫が凝らされてきた。

当社も日常のキャビテーション試験業務を通じ、キャビテーション現象の実態を正確に把握できる計測法を模索してきた。それらの内、最近、当社が取り組んでいる幾つかの試みを紹介する。

キーワード：キャビテーション、水槽試験、光学プリズム、高速度 VTR、LDV、PIV

1. はじめに(キャビテーション試験の役割と課題)

プロペラが回転するとプロペラにより加速された水はベルヌーイの定理に従い、周囲の水圧に比べ強い負圧となる。そして時としてその負圧が遂には飽和蒸気圧に達し、部分的な沸騰状態に至る。これがキャビテーション（空洞現象）と呼ばれるもので、キャビテーション崩壊時にはその近傍に 100MPa. 前後にもなる衝撃的な崩壊圧を生じることがある。キャビテーションは船体振動、騒音、プロペラや舵へのエロージョン（壊食）を引き起こす原因となり、プロペラ設計者はできるだけキャビテーションを起こさないプロペラ形状の設計に腐心する。

キャビテーション試験は試験水槽内に実機と流体力学的に相似な状況を作り出し、実機と幾何学的に相似形の模型プロペラを水槽内で駆動して、キャビテーションが発生する様を観察／計測する

水槽実験である。その知見は、現状のプロペラ形状の改良や新しいプロペラの開発等に利用される。

キャビテーションは前述のようにプロペラの回転に応じ非常に短時間で気泡が発生・消滅を繰り返す現象であるため通常、肉眼での正確な観察は困難である。そこでプロペラの「回転速度×翼数」に同期したストロボ光をプロペラに照射し、残像効果であたかも静止したプロペラにキャビテーションが生じているかのような状態とし、観測胴横から写真撮影やスケッチによりその現象を記録することが一般的に行われている。しかしこの手法には未だ様々な課題があり、次の三点もその代表的なものである。

- (1) プロペラ軸方向正面から流れを当てる関係上、自ずと観測は側面からとなり観測上の死角となる部分も少なくなく、またキャビテーショ

* 研究開発事業部 試験技術部 大型試験機器グループ

** 研究開発事業部 試験技術部 部長

ンの発生範囲を把握し難い。

- (2) 写真撮影やスケッチでは、瞬時の非定常現象であるキャビテーションのある瞬間しか記録できず、また通常の VTR 撮影ではキャビテーションのメカニズムの細部を理解するにはフレーム速度が遅すぎた。そのためどのような性格のキャビテーションが、どの位置にどの位発生し、どのように成長、崩壊、消滅しているかという一連のプロセスを記録に残し難い。そのためこれらのメディアによる記録は観察者に相応の評価技量を要する。
- (3) キャビテーションを理解する前提として、キャビテーション周囲の流れがどのようなものかを知ることは重要である。それには従来、レーザー光線のドップラー効果を利用した LDV (Laser Doppler Velocimetry: レーザー・ドップラー流速計) が用いられることが多かった。LDV は高精度な流速計測が可能なもの、計測点数当たりの所要時間が長い。

2. 課題克服のための試み

2.1 光学プリズムの利用

キャビテーションは側面のみならず、できるだけプロペラ軸方向正面に近い角度からもその発生状況を観察したいが、キャビテーション水槽の観測胴に阻まれ、従来はままならなかった。そこでアクリル製の光学プリズムを作成し、観測胴脇に取り付けることによりその視角を大幅に改善できた。

2.2 高速 VTR の利用

通常の家庭用 VTR の画像記録速度は約 30f/s 前後であるのに対し、キャビテーション水槽のプロペラ回転数は 20 ~ 25rps である。またプロペラ翼数は 4 ~ 6 翼が多いことを考えると、いくら同期をとったストロボ照射下での撮影とは言え、同一フレームに数回分のキャビテーションが通過していることになる。そのためキャビテーション映像は複数回のキャビテーションの残像が平均され

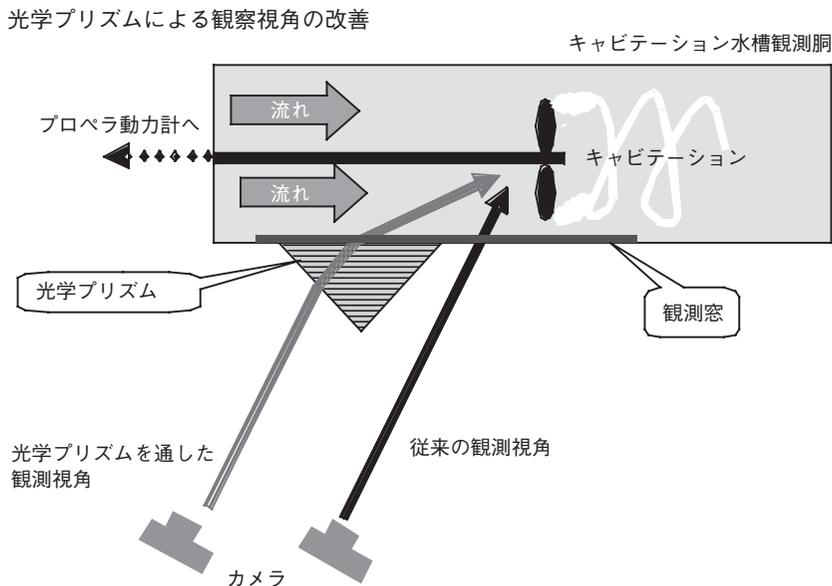


図1 光学プリズムの利用

たものとなり、ある一つのキャビテーションに着目して時系列的にその成長プロセスを追跡するという観察はできなかった。一方、最近では1,000～2,000f/sの撮影が可能な高速度VTRも、市場価格が下がり手の届かないものでは無くなった。そこで従来のVTR撮影に代え高速度VTRの適用を試みたところ、これまでは分かり難かったキャビテーションの瞬時の過渡プロセスを、克明に捉えられることが確かめられた。

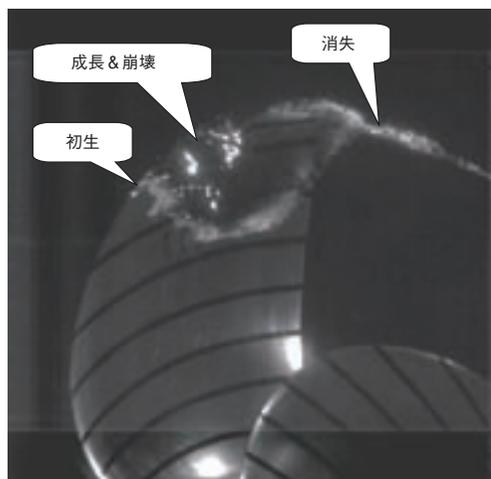
特に、翼面上でのキャビテーション崩壊の有様を捕らえるのに高速度VTRは有用で、翼形状の改良やプロペラの開発に有用な知見が多く得られる。そのため、従来の数回分の平均として捕らえられた映像に比べ、高速度VTRの映像は経験の浅い観察者にとっても、非常に役立つ観察／記録ツールとして今後、益々、活用は広がって行くと思われる。

2.3 PIV法の利用

前述のとおりLDV¹⁾は高精度であるが、同時

に多数点を計測することは難しく、時間的効率の良い計測とは言い難かった。その点を改善できないか昨今、キャビテーション水槽での流場計測にPIV²⁾(Particle Image Velocimetry: 粒子画像流速計)の適用を試みている。

LDVはドップラー効果を計測する必要上、照射光源には直進性が高く照度が大きいレーザー光を使う。一方、PIVはトレーサーの位置が撮影できればよいので、原理的にはレーザー光に拘らず、一般的なハロゲンライト等の適用も可能である。また高速VTRと同様、PIVに必要なCCDカメラも最近では廉価になってきた。このような観測器環境において、PIVの最大のメリットは、LDVは狙った1個からせいぜい少数個のターゲットに照射し、その流速データを得るのに対し、PIVは上流から流した無数のトレーサーをCCDカメラで撮影し画像処理的に位置を割り出して、トレーサー位置の流速を算定する。そのため同時に多点計測が可能となり、流場計測法としては効率の良い計測法となる。最近では処理能力の高い

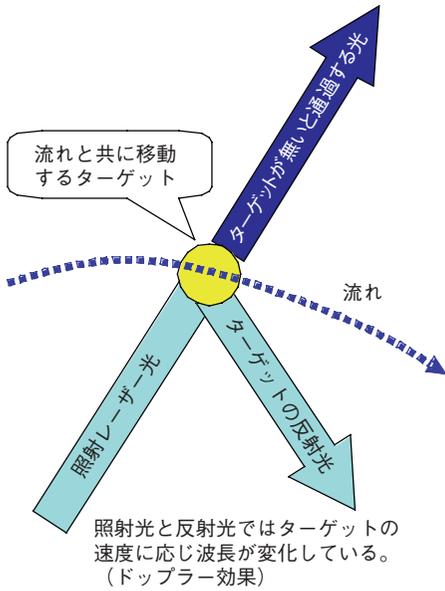


高速度 VTR 画像
(翼面上の崩壊状況)

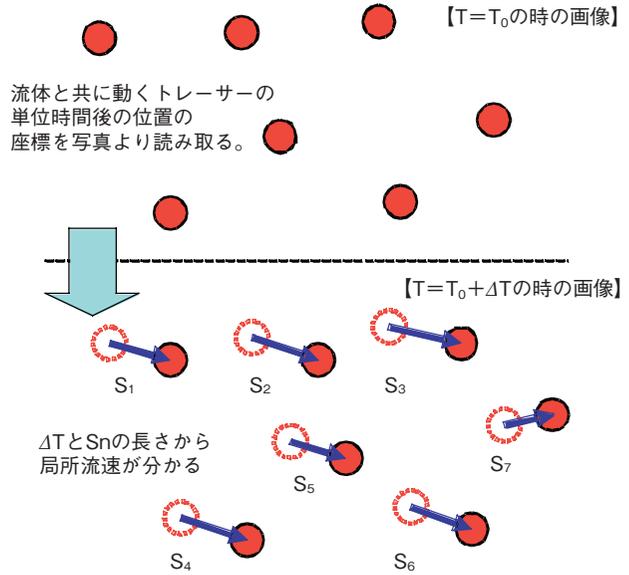


通常 VTR 画像
(数個分の残像の平均)

図2 VTRの違いによるキャビテーション映像の差



LDV計測原理の模式



PIV計測原理の模式

- 1) LDV法： レーザー光を流体と同運動するターゲット（反射粒子）に当て、照射光と反射光のドップラー作用を計測することによりターゲット位置の流体速度を得る計測法で、主に水槽試験でよく用いられる。
- 2) PIV法： 流体中のトレーサー位置を時間とともに撮影して計測することで、トレーサー周りの流速を得る方法で、主に風洞試験で用いられる。LDVより多くの箇所の流速を同時計測できる利点がある。

図3 LDVとPIVの流速測定原理



図4 PIVシステムで捕らえたトレーサーの画像

パソコンの普及に伴い、PIV専用の画像処理ソフトも多数出回るようになってきた。このようなこともPIVを用いる上での有利性を後押ししてい

る。図3にLDVとPIVの計測原理の模式図を示す。

また図4にはPIVシステムで撮影された、流れと共に移動しているトレーサーの画像例を示

す。このような画像を一定時間ピッチ： ΔT で連続的に撮影し、流速を測りたい点付近のトレーサーに着目して画像からトレーサーの位置を割り出し、 ΔT 後のトレーサーの移動距離： $S_n, n=1,2,3 \dots$ を求め、 S_n を ΔT で除してトレーサーの移動速度、ひいてはトレーサーがある位置の流速を求める。

3. おわりに

以上、キャビテーション試験における当社の最近の試みを三点程、紹介した。これらにより冒頭に述べた課題に対し、以下の改善がなされた、あるいは光明が見出されようとしている。

○キャビテーションをできるだけ正しく把握するための視角の改善

○キャビテーションの成長プロセスを理解する上で有意な克明な映像データの取得

○キャビテーション周囲の流場情報の効率的な取得

当社は今回紹介した三項目以外にも今後とも試験法の改良に取り組み、プロペラ開発やトラブル対策の検討に対し、技術支援を目指していく。

謝辞

最後となりましたが、本技術紹介をまとめるに当たり、(株)IHI 技術開発本部 総合開発センター 船舶海洋技術開発部の大森 拓也 課長殿 ならびに 長屋 茂樹 課長殿には資料の提供や様々な助言を賜りましたこと、厚く御礼申し上げます。



研究開発事業部
試験技術部
大型試験機器グループ
尾崎 伯哉
TEL. 045-759-2094
FAX. 045-759-2107



研究開発事業部
試験技術部
部長
三船 正純
TEL. 045-759-2085
FAX. 045-759-2137