

# 船用プロペラの水槽試験における水中三次元形状計測法の応用

白石 耕一郎<sup>1</sup>, 澤田 祐希<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所 (〒181-0004 東京都三鷹市新川 6-38-1)

## Application of 3D Shape Measurement System for underwater objects to Tank Tests for Marine Propeller

Koichiro SHIRAISHI<sup>1</sup> and Yuki SAWADA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>National Maritime Research Institute, 6-38-1 Shinkawa, Mitaka, Tokyo 181-0004

**Abstract:** Recently, authors have developed a new method of measuring three-dimensional shape using a combination line CCD camera measurement method which can measure faster and more accurate. In order to verify effectiveness of the developed system, two kind of model experiments on a highly skewed propeller-of “SEIUN-MARU I” has been carried out in the large cavitation tunnel of NMRI. In this paper, the authors show the results of deformation measurements of a resin model propeller and cavity shapes measurements of an aluminum model propeller.

**Key Words:** 3D shape measurement, Marine propeller, Tank tests, Deformation, Cavitation

### 1. 緒 言

船用プロペラは一般的に理論計算や数値計算を用いて設計し、最終的な性能は模型プロペラを用いた水槽試験によって確認を行う。近年は、弾性変形を伴う複合材料プロペラが実用化されており、その性能確認のための翼形状の変形量計測を行う。また、プロペラに生じるキャビテーションを数値計算等によって高精度に推定するための検証データ取得のため、キャビテーションの形状計測（以後、キャビティ形状計測）も実施する。変形量やキャビティ形状の計測は、水中三次元形状計測によって行うが、模型プロペラは高速回転しているため、非接触計測かつ高速撮影が不可欠である。また、水槽内での計測装置の設置が困難であるため、水槽外部から計測窓を通して計測する必要がある。

著者らは、これらの問題を解決するために組み合わせライン CCD を用いた水中三次元形状計測の開発を行っている<sup>2)</sup>。組合せライン CCD 法は、計測対象物にレーザーを照射し、その照射位置を 3 台のライン CCD カメラで撮影し、それぞれの撮影画像における輝度値のピーク位置から計測点の三次元位置を算出するというものである。

本研究では、開発した水中三次元形状計測法の応用として、弾性変形プロペラの変形量計測とキャビティ形状計測を行ったので、その結果について報告する。

### 2. 組み合わせライン CCD 法

本研究で用いる組合せライン CCD 法は、計測対象物にレーザーを照射して発生する散乱光を 3

台のライン CCD カメラで撮影し、それぞれの撮影画像のピーク位置から計測点の三次元位置を算出する方法である。ライン CCD カメラは撮像素子が横一列に並んでおり、一般的なエリアセンサに比べ、高解像度でありながら、スキャンレートも非常に高いという特徴がある。本研究で開発した三次元形状計測装置の構成を Fig. 1 に示す。

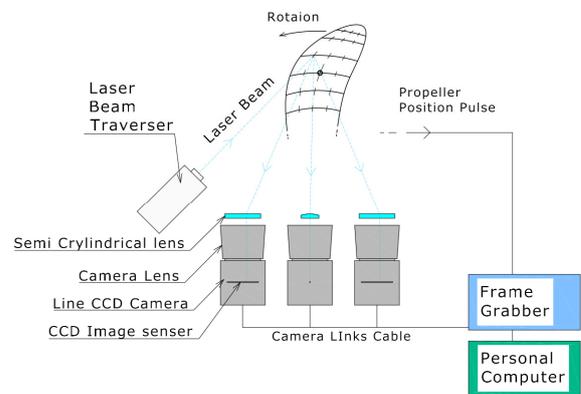


Fig. 1 Illustration of 3D shape measurement system using combination line CCD camera method.

本装置の具体的な計測方法は以下の通りである。まず、計測する位置にレーザーを照射し、計測対象の表面で散乱されたレーザー光はセミシリンドリカルレンズを通ることで、ライン CCD 素子上へと集光される。そして、ある計測対象から散乱されたレーザー光を 3 台のライン CCD カメラで撮影する。それぞれのカメラで撮影した画像の輝度分布からピーク座標を算出し、三角測量の原理よりレーザースポット光位置の三次元座

標を求める。ここで、 $P(X_0, Y_0, Z_0)$ は計測点、AおよびBは左右のライン CCD カメラの設置位置である。三角測量の基本原理より、レーザースポット光の三次元座標は以下の式より算出できる。

$$X_0 = d \cdot X_L / (X_L - X_R) = X_L \cdot Z_0 / f \quad (1)$$

$$Y_0 = d \cdot Y_C / (X_L - X_R) = Y_C \cdot Z_0 / f \quad (2)$$

$$Z_0 = d \cdot f / (X_L - X_R) \quad (3)$$

ただし、 $X_L, X_R, Y_C$ は撮影画像上におけるレーザーのピーク位置、 $(X_L - X_R)$ は左右のカメラの視差、 $d$ はA点とB点の距離、 $f$ はカメラの焦点距離である。

### 3. 弾性変形プロペラの変形量計測

開発した三次元形状計測装置を用いて弾性変形を伴う模型プロペラの変形量計測を行った。供試プロペラは、青雲丸 I 世 HSP の樹脂製模型プロペラで直径 250mm である<sup>3)</sup>。供試プロペラの素材はカーボン入りナイロンである。変形量計測はプロペラ回転数  $n_p=15.0, 22.0$ [rps]の2状態、前進係数  $J=0.671$ 、均一流中において実施した。本計測では変形量を計測する位置に白のマーキングを行い、回転数変えてそれぞれのマーク位置について計測を行った。マーク位置は半径位置 0.7R, 0.8R, 0.9R, 0.95R について、コード長を8分割する7点である。変形量の計測結果を Fig. 2 に示す。Fig. 2 の黒点は変形前のマーク位置、赤点及び青点はプロペラ回転数が 22.0, 15.0[rps] における変形後のマーク位置を示している。Fig. 2 から開発した装置によって、翼端が曲がる様子を定量的に計測できており、回転数の増加による変形量の増加も捉えられていることが確認できる。

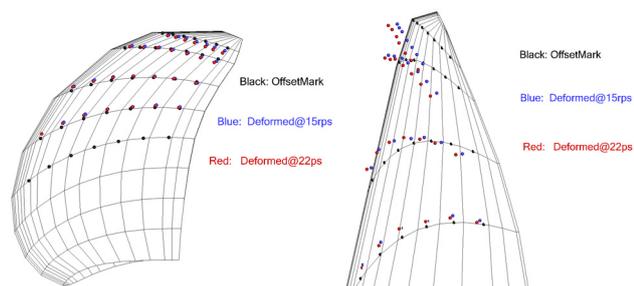


Fig. 2 Deformation measurement results of the model propeller. (Left: Overall view. Right: Enlarged view)

### 4. キャビティ形状計測

次に開発した計測装置を用いてキャビティ形状計測を行った。供試プロペラは青雲丸 I 世 HSP のアルミ製模型プロペラであり、直径 250mm である<sup>3)</sup>。キャビティ形状計測は、模型プロペラに生じたキャビテーションに向けてレーザーを照射し、その反射点をキャビテーションの表面とし

て計測する。そして、レーザーをトラバースさせキャビテーション全体について計測を行うことでキャビティ形状を計測した。試験条件は、スラスト係数  $K_T=0.201$ 、キャビテーション数  $\sigma_n=2.99$ 、プロペラ回転数  $n_p=30.0$ [rps]である。Fig. 3 に模型プロペラに発生したキャビテーションをスチールカメラで撮影した画像（左図）とキャビティ形状を計測した結果（右図）を示している。Fig. 3 において赤点は計測点、コンターはキャビティの厚みを示している。Fig. 3 より、開発した装置によってキャビティ形状を計測できていることが確認できる。また翼後縁付近におけるキャビティ厚みの増大を捉えられていることが確認できる。

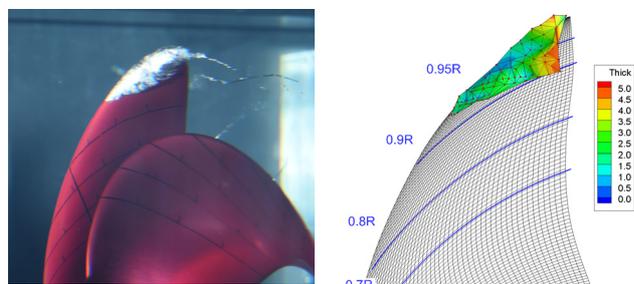


Fig. 3 Photo of cavitation pattern and the measured cavity shape. (Left: Photo. Right: Measured results)

### 5. 結 言

本研究では、組合せライン CCD 法を用いた三次元形状計測法の応用として、変形量計測及びキャビティ形状計測を実施し、両計測対象を十分な精度で計測できることを確認した。また、本計測を通して開発したシステムが剛体の計測だけでなく、弾性体や気液界面等の計測に応用できることを示した。今後は、開発した計測装置の改良を行い、計測作業の効率化及び計測精度の向上を図る予定である。また、本装置を用いた新しい計測対象への応用を検討している。

### 謝 辞

本研究の一部は公益財団法人精密測定技術振興財団の助成を受けて実施した。

### 参考文献

- 1) 山磨ら：CFRP 製プロペラの研究開発（マリンエンジニアリング, 2017, 52 巻, 2 号）p. 146-150.
- 2) 白石ら：組合せライン CCD 法を用いた三次元形状計測システムの高精度化について（情報処理学会 第 78 回全国大会講演論文集, 2016）.
- 3) 工藤ら：模型プロペラ翼面上に発生するキャビティ形状の計測（日本造船学会論文集, Vol.166, 1989）p.93-103.