

## 13 ビデオ画像を用いた船側相対水位計測手法の開発

運動性能部

\*宮崎 剛、石田茂資、

沢田博史、二村 正、辻本 勝

システム技術部

桐谷伸夫

### 1. まえがき

海洋波浪の情報は、船舶の安全かつ経済的な運航にとって必要不可欠なものであり、海洋環境に関する情報としても重要である。その計測は、人工衛星やブイ、船舶からの観測等によって行われてきたが、波高・波周期・波向という基本的な量を広範囲の海域で取得できるという意味で、一般商船からの海象通報の重要性は現在においても変わっていない。しかし、一般商船では目視観測に頼らざるを得ないため、精度やばらつきの点で問題がある。

そこで、一般の船舶に搭載可能な精度の良い波浪計測機器の開発が求められる。波浪計測機器としては、これまでに超音波を利用する形式やレーダを利用する形式など様々な物が実用化されているが、費用・計測精度の観点から、広く一般商船に搭載されるには至っていないのが現状である。

このような現状に鑑み、船載方式波浪計測システムの研究開発<sup>1)</sup>に着手した。本報では前報<sup>2)</sup>に引き続き、このシステムの重要な要素技術である、ビデオ画像を用いた船側相対水位計測手法について述べる。

### 2. 画像処理手法

図-1の流れに基づき船体側面と波面との交線位置の検出を試みた。以下、各項目に関して述べる。

#### a) 画像の取り込み

画像をコンピュータ上に取り込む。

#### b) モノクロ化処理

画素毎に Red、Green、Blue の各チャンネルについて輝度値を読みとり、各チャンネルの平均をとることでモノクロ画像としての輝度

値に変換する。

#### c) 平滑化処理

中央値フィルタ<sup>3)</sup>を用いて、画像上のノイズの影響を軽減する。

#### d) コントラスト強調化処理

線形濃度変換法<sup>3)</sup>を用いてコントラスト強調化処理を行う。

#### e) 交線の検出

画像処理手法の中で境界検出に用いられる Sobel オペレータ<sup>3)</sup>を用いて交線の検出を行った。Sobel オペレータとは、輝度に関する局所積和演算を用いた境界検出オペレータである。画像上のある点 $(i,j)$ における輝度を $f(i,j)$ と記述すると、水平方向に関する Sobel オペレータ $f_x(i,j)$ は、

$$f_x(i,j) = (-1) \cdot f(i-1,j) + (-2) \cdot f(i,j) + (1) \cdot f(i+1,j) \quad (1)$$

と定義される。ここで $i$ は画像内における水平方向の位置を、 $j$ は鉛直方向の位置を示す( $i:1 \sim 640, j:1 \sim 480$ )。(1)を $f_x: [-1 \ -2 \ -1]$ と記述すると、鉛直方向も考慮した Sobel オペレータは、

$$f_{xy} : \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

と記述することができる。

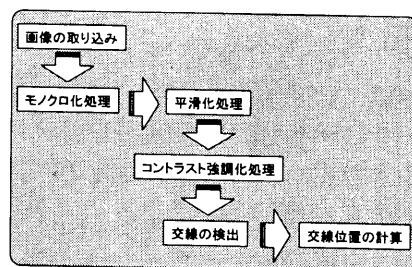


図-1 画像処理手法の流れ

写真－2に実験状態を示す。

f) 交線位置の計算

得られた交線位置を物理量に換算する。

3. 水槽実験による検証

3. 1 実験概要

前節で述べた手法を検証するために、当所の80m 角水槽において自航模型船を用いた実験を行った。この水槽が屋外にあることを利用して、船速や波との出会角だけではなく、日照条件の影響についても検討を行った。実験条件の一覧を表－1に示す。

表－1 角水槽実験条件一覧

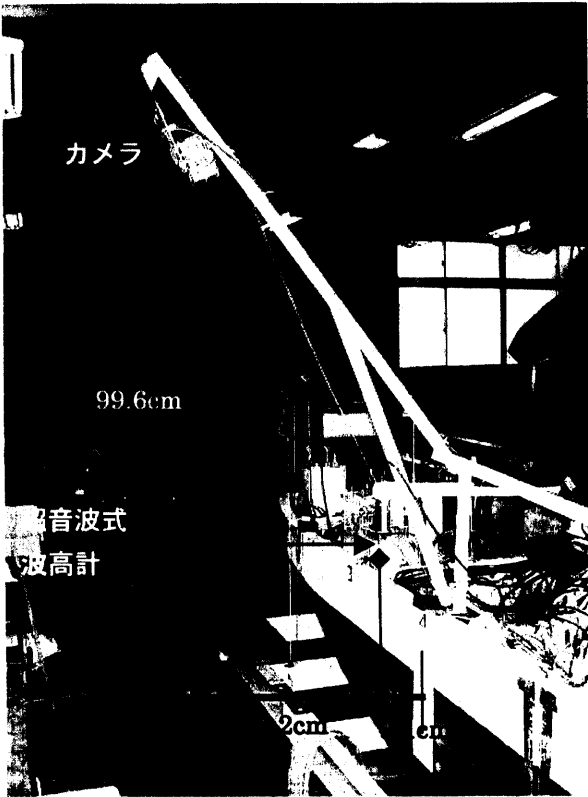
|      |                     | 船速<br>(m/s) | 出会角 $\chi$ (deg.) |    |    |           |           |
|------|---------------------|-------------|-------------------|----|----|-----------|-----------|
|      |                     |             | 0                 | 45 | 90 | 135       | 180       |
| 規則波  | $\lambda/L$<br>=0.5 | 1.8         | ○                 | ○  | ○  | ○         | ○         |
|      |                     | 1.3         | ○                 | ○  | ○  | ○         | ○         |
|      | $\lambda/L$<br>=1.0 | 1.8         | ○                 | ○  | ○  | ○         | ○         |
|      |                     | 1.3         | ○                 | ○  | ○  | ○         | ○         |
| 不規則波 |                     | 1.8         | ○                 | ○  | ○  | ○<br>(夜間) | ○<br>(夜間) |
|      |                     | 1.3         | ○                 | ○  | ○  | ○         | ○         |
| 2方向波 |                     | 1.8         | ○                 | ○  | ○  | ○         | ○         |
|      |                     | 1.3         | -                 | -  | -  | -         | -         |

表－1に記したように、入射波としては一方向規則波、一方向不規則波、二方向不規則波を用いた。入射波条件は表－2に示す。

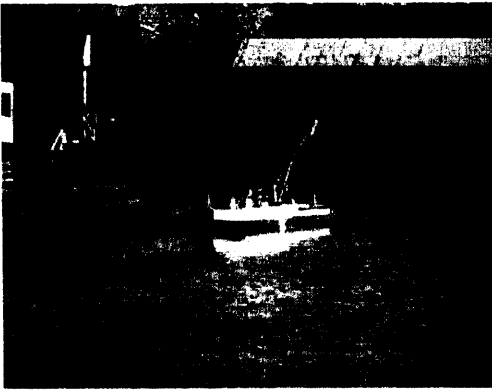
表－2 入射波条件

|           | 波高(m)          | 周期(秒)         | 波長船長比<br>$\lambda/L$ |
|-----------|----------------|---------------|----------------------|
| 規則波       | 0.07           | 1.2,1.7       | 0.5,1.0              |
| 不規則波      | 0.07<br>(有義波高) | 1.7<br>(平均周期) | -                    |
| 2方向波 不規則波 | 0.07<br>(有義波高) | 1.7<br>(平均周期) | -                    |
| 規則波       | 0.05           | 1.7           | 1.0                  |

実験に使用したのは、船長4.5m、船幅0.793m、重量595.6kgの自航模型船である。模型船上にCCDカメラを設置し船側部における画像を撮影した。また、画像処理結果の検証用データとして模型船の画像撮影部に超音波式波高計を設置し、相対水位を計測した。写真－1にCCDカメラならびに超音波式波高計の配置状況を示す。また、



写真－1 CCDカメラおよび超音波式波高計の配置



写真－2 実験状態

CCDカメラの取り付けに際しては船体運動によるカメラの振動を抑えるように留意し、取り付け治具をワイヤで固定するなどの対策を施した。写真－3にCCDカメラによって撮影された画像の一例を示す。画像中央部付近に解析領域を設定

して画像処理を行い、船側部における相対水位を計測した。

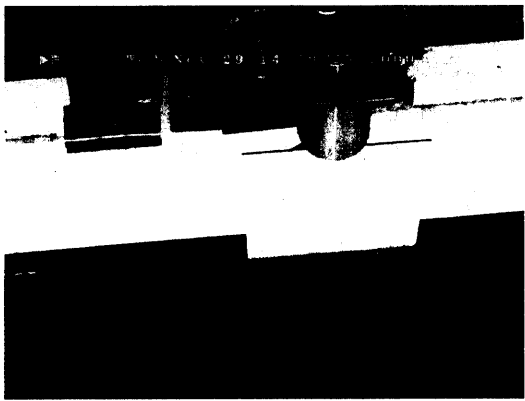
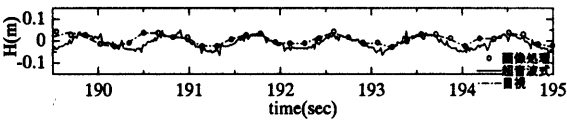


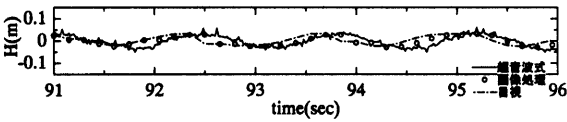
写真-3 CCDカメラにより撮影された画像

3. 2 計測結果

以下、主要なケースについて計測結果を示す。手法の検証のため、画像処理結果と、得られた画像を CRT に表示し目視で読みとった船体と水面の交線の位置を相対水位に換算した値、ならびに画像撮影位置に設置された超音波式波高計の計測結果の三者間における比較を行った。図-2は向波規則波中、図-3は斜向波規則波中、図-4は横波規則波中、図-5は追波規則波中、図-6は2方向不規則波中における船側における相対水位の時系列変動を示している。

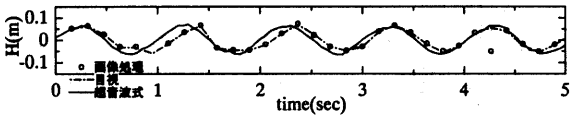


(a)  $\lambda/L=0.5$

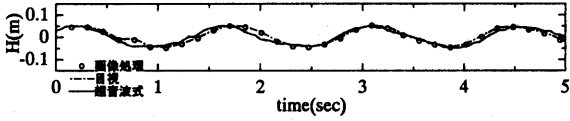


(b)  $\lambda/L=1.0$

図-2 船側相対水位時系列解析結果  
(規則波中、 $\chi=180\text{deg.}$ 、船速 1.3m/s)

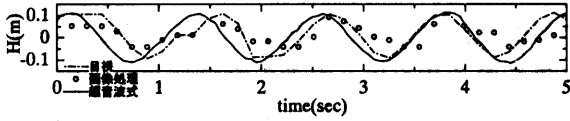


(a)  $\lambda/L=0.5$

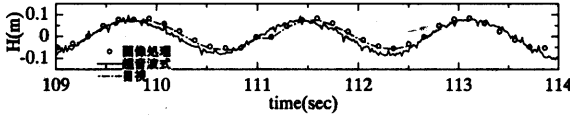


(b)  $\lambda/L=1.0$

図-3 船側相対水位時系列解析結果  
(規則波中、 $\chi=135\text{deg.}$ 、船速 1.3m/s)

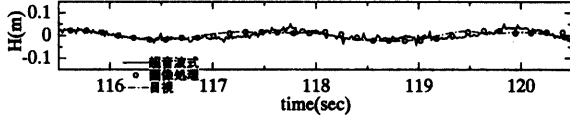


(a)  $\lambda/L=0.5$

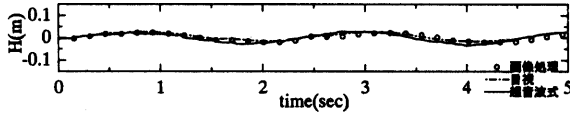


(b)  $\lambda/L=1.0$

図-4 船側相対水位時系列解析結果  
(規則波中、 $\chi=90\text{deg.}$ 、船速 1.3m/s)

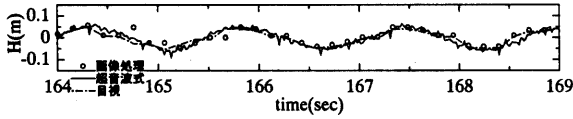


(a)  $\lambda/L=0.5$



(b)  $\lambda/L=1.0$

図-5 船側相対水位時系列解析結果  
(規則波中、 $\chi=0\text{deg.}$ 、船速 1.3m/s)



図－6 船側相対水位時系列解析結果比較  
(2方向不規則波中、 $\chi=0\text{deg.}$ 、船速 1.3m/s)

各図において、縦軸は相対水位変動を表し、横軸は解析開始後の経過時間である。図中において○印が開発した手法による計測結果で、一点鎖線が前に述べた目視により解析した結果、実線が超音波式波高計による計測結果である。

まず、超音波式波高計による計測結果と目視解析結果を比較すると、図－3から図－6を通じて全般的に両者はよい一致を示している。両者の間にみられる相違は、両者の計測地点が厳密に一致していないことや、超音波式波高計が計測領域内の平均値としての相対水位を出力していることなどに起因するものと考えられる。

次に、画像処理結果と目視解析結果とを比較すると、図－3から図－6を通じて、両者は概ね良好な一致を示している。しかし、図－4(a)に相当する短波長かつ横波の実験条件においては、画像処理によって船体と波面の交線を安定して検出できずに、結果に相違が生じた。このように画像処理の精度が低下する原因は、船体からの反射波により攪乱された波面に太陽光が反射したことである。また、相対水位の振幅が大きく、計測領域をはずれた場合もみられた。したがって、今後はこれらの外乱に対して影響を受けにくい手法への改良が求められる。なお、ここでは出会角の変化に着目して画像処理結果を述べたが、船速や日照条件の変化に関しては、実験結果全般を通して画像処理結果に明確な傾向の変化はみられなかった。

これまでに述べたように、画像処理結果と目視解析結果ならびに超音波式波高計の計測結果の三者が概ね良好な一致を示していることから、開発した手法により、屋外における自航模型船を用いた実験という外乱の影響を受ける条件下においても、船側相対水位の計測が可能であることが

検証された。

#### 4. まとめ

ビデオ画像を用いた船側相対水位計測手法を開発し、その有効性を確認した。また、計測精度および安定性を向上させるための課題として、波面の攪乱の影響の除去などが抽出された。これらは実海域における計測の際にも問題となる点であると考えられ、引き続き改良を行っていく。

#### 謝辞

本研究は運輸施設整備事業団「運輸分野における基礎的研究推進制度」によって行われたことを記し、謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 渡邊巖、他：「船載方式波浪計測システムの研究開発について」、第74回船舶技術研究所研究発表会講演集、2000.6
- 2) 宮崎剛、他：「出会波浪計測システムのための画像解析手法の検討」、第74回船舶技術研究所研究発表会講演集、2000.6
- 3) (財)資源観測解析センター編：「画像データの処理と解析(1)」、(財)資源観測解析センター、1990.3