### 画像解析による風波下の海面せん断応力の推定

岩手大学 学生会員 〇片山直,正会員 小笠原敏記,正会員 堺茂樹

#### 1. 緒言

風応力が作用する海面直下で発達した気液混合境 界層は、大気・海洋間での熱・エアレーション交換 や溶存酸素、プランクトン、漂砂などの物質輸送の 役割を果たし、沿岸海洋の環境に大きな影響を与え ている.特に、海面が白波に覆われた強風下で生成 される強吹送流は、高潮災害や大規模な海浜変形の 要因となる.しかし、大気-海洋の両境界が自由界 面のため、大気から海洋へ及ぼす正確な力を評価す ることは非常に難しく、吹送流の流速は風速の約 3% と見なして、海流モデルの計算が行われている.

そこで本研究では、風が海面に及ぼすせん断応力 を高速ビデオカメラで撮影された断面 2 次元画像デ ータを基に、画像解析より海面せん断応力を算出し て、既存の観測・実験(例えば、本多・光易(1980)) で得られた抵抗係数との比較を行い、画像解析によ る海面せん断応力の推定の妥当性を検証する.

#### 2. 画像解析手法

画像解析に用いた風波の画像データは、二重床風 洞水槽 (<sup>H</sup>1.0m×<sup>B</sup>0.4m×<sup>L</sup>15.4m;岐阜大学所有、上段水 路水深 *h*=30cm)で基準風速 *U<sub>r</sub>*=6.7, 10.4 および 15.1m/sの3通りを風の吹き始めから34.1秒間撮影さ れたものである. 画像は,最大解像度480×480 pixel, 2,048 フレーム(撮影速度 60fps),空間解像度 0.056cm/pixel である.

海面せん断応力  $\tau_s$ は,水面の傾き  $I(=\partial \eta / \partial x)$  を利 用して算出されるため,以下に示す画像解析手順よ り水面変位  $\eta$  を検出する.

- 図-1(a)に示す原画像をフリーの画像解析ソフト Image Jを用いて 0~255 の輝度値で表記されたテキストデータに変換する.
- ② 気液境界層を鮮明にするために、モード法による2値化処理を行う(図-1(b)).
- ③ 波形以外の雑音は、論理フィルタリング(孤立点

風波,海面せん断応力,画像解析

岩手県盛岡市上田 4-3-5 岩手大学工学部建設環境工学科 · 019-621-6448 · 019-652-6048



# (c) フィルタリング画像(d) 検出された画像図-1 画像解析による波形の検出過程

収縮, 穴埋め)によって除去する(図-1(c)).

④ 輝度値0(黒)から1(白)に変化する画素の位置情報を読み取ることによって波形を検出する.
図-1(d)は検出された波形の一例を示す. ①~④の画像解析を行うことにより適切な波形が抽出されて

#### 3. 海面せん断応力の算出

いることがわかる.

海面せん断応力  $\tau_s$ は、水の密度  $\rho_w$ 、重力加速度を g とすれば、次式より算出することができる(宇野木 (1993)).

$$\tau_{s} = \frac{2}{3}\rho_{w}gh\frac{\partial\eta}{\partial x} = \frac{2}{3}\rho_{w}ghI \qquad \cdots (1)$$

まず,水面の傾き *I* を画像解析より検出された波形 を用いて求める.

図-2 は、検出された波形の最大変位  $\eta_{max}$  の時間 変化を各風速  $U_r$ について比較したものである. いず れの風速においても時間の経過に伴い最大変位は増 大している. その増加率は、風の吹き始めに比べ、 風速が大きくなるに連れて、6秒以降で急激に増大し ていることがわかる. そこで図中に示すように、2~ 3.5秒(Case1)、3.5~6秒(Case2)、6~12秒(Case3)、 および 12~20秒(Case4)の領域に分けて、その領域 における水位変化量  $\Delta \eta$  を求める. そして、その変化 量  $\Delta \eta$  に対する水平方向の変化量  $\Delta x$  は、画像中の 1 つの波の移動速度  $u_i$  をその移動距離と時間より、



図-2 各風速 U<sub>r</sub> での最大変位 η<sub>max</sub>の時間的変化



## 図-3 各 Case の領域における波の 移動平均速度 *ū* と風速 *U<sub>r</sub>* の関係

$$u_i = \frac{x_\eta^n - x_\eta^1}{(n-1)\Delta t} \qquad \cdots (2)$$

として求める. ここに,速度 $u_i$ の下添字iは各 Case の領域で着目した波の数, $x_n^1$ および $x_n^n$ は着目波の始 めと終わりの水平位置,nは追跡画像枚数, $\Delta t$ は 1/60 秒を意味する. 図-3 は各 Case における移動速度 $u_i$ の平均値 $\overline{u}$ と風速 $U_r$ の関係を示す.風波の発達に伴 い $\overline{u}$ も速くなる. Case4 の $U_r$ =15.1m/s では,砕波の 影響によって速度の低下が見られるが,Case4 におけ る各風速の $\overline{u}$ の値は,Case1 におけるそれの3 倍強の 大きさとなり,10 秒程度の短時間で急激に波が発達 していると言える. そして,この平均値 $\overline{u}$ に各 Case の時間を掛けることにより,水平方向の変化量 $\Delta x$ を 求める.さらに,その変化量 $\Delta x$ で水位変化量 $\Delta \eta$ を 除して水面の傾きIを算出する.

#### 4. 抵抗係数の比較検討

抵抗係数 C<sub>f</sub>は、海流モデルに対する風の作用を考 える上で非常に重要なパラメータである。海面せん 断応力と抵抗係数には、次式のような関係がある.

$$\tau_s = \rho_a C_f U_{10}^2 \qquad \cdots (3)$$

ここで、 $\rho_a$ は空気の密度、 $U_{10}$ は海面からの高さ 10m



の風速であり、本研究では $U_{10} = U_r$ と見なした.

図-4 は、式(1)で求めた海面せん断応力を式(3) に代入して算出された抵抗係数  $C_f$ と既存の結果を比 較したものである. Case2、3 および4の  $C_f$ は、既存 の結果と比べて1 オーダー程度大きな値になるが、 Case1 のそれは、概ね一致していることがわかる. 式 (1)を(3)に代入し、 $C_f$ について表せば、

$$C_f = \frac{2}{3} \frac{\rho_w gh}{\rho_a U_r^2} \frac{\partial \eta}{\partial x} = \alpha \frac{\partial \eta}{\partial x} \qquad \cdots (4)$$

となり,係数 a の部分は,風速および水深が一様な らば定数と見なせるため,抵抗係数が水面勾配に強 く依存することを示している.画像解析の水平範囲 は,26.9cm であり,既往の実験・観測に比べて局所 的な水位変化を捕らえていると考えられる.そのた め,風の吹き始めでは,海面せん断応力の作用によ って発生した水面勾配として扱えた波形が,時間の 経過に連れて,その応力が波形の変形に作用するよ うになり,水面勾配として扱えないことを意味して いるものと考察される.

以上の結果,画像解析により水面勾配を基にした 海面せん断応力を推定する場合,風の吹き始めの極 限られた領域に限定されることに注意が必要である. 謝辞:本研究は,科学研究費補助金若手研究(B)によ る成果であることをここに付記する.

#### 参考文献

本多忠夫・光易恒:水面に及ぼす風の作用に関する実験的研究,海岸工学論文集,pp.90-93,1980. 宇野木早苗:沿岸の海洋物理学,東海大学出版会,245p, 1993.