

河川における離岸堤周りの航走波の観測と解析

パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 ○福田朝生 広島大学大学院

フェロー会員 福岡捷二

広島大学大学院

正会員 渡邊明英

国土交通省荒川下流河川事務所 正会員 石鉢盛一朗

1. 序論

荒川では、離岸堤を設置し背後の河岸を航走波の作用から守りながら、ヨシ原河岸の再生が行われている。しかし、潜堤となる離岸堤の護岸効果、及び離岸堤に到達するタンカー航走波の波高分布の把握が明らかにされる必要がある。タンカーは、航行頻度が高く航走波エネルギーが大きいため、河岸侵食への寄与が大きい。本研究では、タンカー航走波の解析を行い観測値と比較する。次に小松川地区において河岸侵食を観測することで護岸効果を持つ離岸堤の諸元を検討している。

2. タンカーの航走波解析

航走波の伝播特性として図-1に航路からの距離に対する最大波高の関係を示す。この図よりタンカーは荒川号(水上バス型)に比べ大きな波高分布を示している。そのため、侵食外力を見積もるには、タンカーによる航走波の波高分布が必要である。本研究では灘岡ら¹⁾による強非線形強分散性波動方程式を用い解析を行う。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \sum_{m=1}^N \nabla \cdot \left[\left(\frac{C_m^2}{g} + \eta \right) \bar{u}_m \right] = 0 \quad (1)$$

$$\sum_{m=1}^N A_{nm} \frac{\partial \bar{u}_m}{\partial t} + B_n \left\{ \nabla \left[g\eta + \eta \frac{\partial w_0}{\partial t} + \frac{1}{2} (\bar{u}_0 \cdot \bar{u}_0 + w_0^2) \right] - \bar{f} \right\} = \frac{\partial}{\partial t} \sum_{m=1}^N [C_{nm} \nabla (\nabla \cdot \bar{u}_m) + D_{nm} (\nabla \cdot \bar{u}_m)] + \sum_{m=1}^N A_{nm} \nu_i \frac{\partial^2 \bar{u}_m}{\partial x^2} + \sum_{m=1}^N A_{nm} \nu_i \frac{\partial^2 \bar{u}_m}{\partial y^2} \quad (2)$$

$$\bar{u}(x, y, t) = \sum_{m=1}^N \bar{u}_m(x, y, t) F_m(z), \quad F(z) = \frac{\cosh k_m(h+z)}{\cosh k_m h}, \quad \bar{u}_0 = \sum_{m=1}^N \bar{u}_m, \quad w_0 = -\sum_{m=1}^N \nabla \cdot \left(\frac{B_m}{g} \bar{u}_m \right), \quad A_{nm} = \frac{\omega_n^2 - \omega_m^2}{k_n^2 - k_m^2}$$

$$A_{nn} = \frac{g\omega_n^2 + h(g^2 k_n^2 - \omega_n^4)}{2gk_n^2}, \quad B_n = \frac{\omega_n^2}{k_n^2}, \quad C_{nm} = \frac{(B_n - A_{nm})}{k_m^2}, \quad D_{nm} = \nabla C_{nm}, \quad \omega_m^2 = gk_m \cdot \tanh k_m h$$

$\bar{u}_m$: m成分の流速ベクトル η : 水位 g : 重力加速度 h : 水深

k_m : m成分の波数 ω_m : m成分の角周波数

なお、水上バスの航走波解析には、式(2)の右辺第2項、及び第3項の渦動粘性係数 ν_i を含む項は付加していない。航走波は、航行する船の前面と後面の抗力によって発生するものとし、式(2)の $\bar{f}$ で与える。この $\bar{f}$ は前面と後面でそれぞれの和が次式に示す抗力 F となる。

$$F = C_D b_w d V_s^2 / 2 \quad C_D: \text{抗力係数}(1.125) \quad b_w: \text{船幅} \quad d: \text{喫水} \quad V_s: \text{船速度} \quad (3)$$

表-1は計算に用いたタンカーの形状、及び水上バスの形状を示す。既往の研究²⁾より、水上バスの航走波は概ね解析で再現可能である。しかし、タンカーでは船前面の背後で水位が大きく低下し、水面変動の式(1)において、繰り返

返し回数が非常に大きくなる。タンカーの解析水位を図-2に示す。本研究ではこれを避けるために、砕波のモデルを組み込み、船前面の背後で波を滑らかにし、タンカーの航走波解析を可能にした。砕波のモデルは灘岡ら³⁾が提案した式を用いた。このモデルは運動方程式(2)の右辺に渦動粘性係数を含む第2項と第3項のレイノルズ応力項を付加するものである。渦動粘性係数 ν_i は式(4)に示す乱れエネルギー E を用いて表される。また、乱れエネルギーは式(5)に示す輸送方程式を用いて移流拡散される。ここで $\bar{u}, \bar{v}$ は水深平均された水平方向流速成分である。また、 P_k, ε, D_k はそれぞれ乱れ生成項、消散項、拡散項である。本研究では $\sigma_k=1.0$, $P_k=0.001$, $c^*=10.0$, $l=0.2h$ とした。乱れエネルギー E は、船前面のセルで常に生成項 P_k として供給している。

砕波項導入によりタンカー航走波の計算が可能となった。航路からの距離に対する最大波高の計算結果を図-1に示す。これより最大波高については概ね再現できている。しかし、解析では乱れの生成項や、消散項の係数などを船の形状や速度に依存しない形で与えている。そのため、タンカーの形状を変化させると、乱れが過剰に供

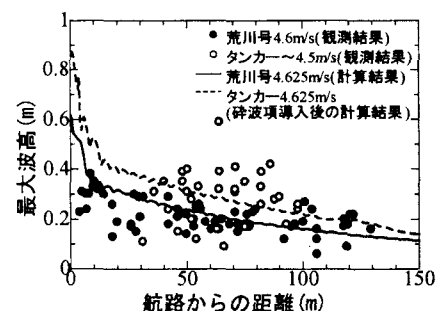


図-1 航路からの距離に対する最大波高

表-1 船の形状

船の種類	船の諸元			
	船長	船幅	最大喫水	船速度
荒川号	27m	5.6m	1.2m	4.625m/s
タンカー	40.8m	8.5m	2.0m	4.625m/s

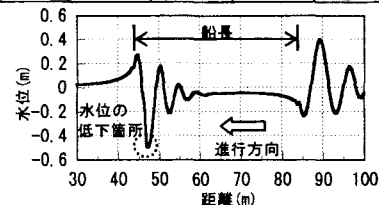


図-2 タンカーの中央線上の水位

$$\nu_i = E^{1/2} \cdot a \cdot h \quad (4)$$

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial E}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial E}{\partial y} = P_k - \varepsilon + D_k, \quad \varepsilon = c^* \frac{E^{3/2}}{l}, \quad D_k = \nabla \cdot \left(\frac{\nu_i}{\sigma_k} \nabla E \right) \quad (5)$$

給され波が生じない状態や、再び繰り返し回数が増大する場合がある。このように砕波項導入後も大きな波を安定して解析できる段階にはなっておらず、今後は現象に即した形の乱れの与え方を検討する必要がある。

3. 離岸堤の護岸効果

ここではタンカー航走波波形を与え、河岸が1日に受ける航走波のエネルギーを推定する。この航走波エネルギーと離岸堤背後の侵食の状況を比較することで護岸効果を発揮する離岸堤の諸元を検討する。まず、荒川の小松川右岸に設置された離岸堤において、航走波の観測を行い、水位変動と離岸堤の透過率の縦断分布を把握した。離岸堤は木工沈床工であり、堤幅 2m、堤長 30m、開口幅 6m である。天端高は3種類有り、A.P+1.6m, +1.8m, +2.2m である。なお、大潮満潮時には A.P+2m 程度まで水位が上昇するため、A.P+2.2m の離岸堤以外は時間により潜堤の状態となる。河岸に伝播してくる航走波の透過波の縦断的な計測は、人が河岸際に並び、スタッフを用いて最大波高を計測し求めた。スタッフによる計測位置を図-3 に示す。次に、図-4 に示す諸元を用い、伝播してくる航走波の d/H_I と透過率 H_T/H_I の縦断分布を計測する。 H_I, H_T は、それぞれ図-3 に示す入射波高計測および、後列の各縦断位置で計測された最大波高を用いた。ここでタンカーの波形として、波高を最大波高 0.3m、継続時間 60s で減衰する直線分布とする。また、タンカーの航行頻度と水位を図-5 のように設定する。これらの条件と各計測位置での透過率を用い、算出した河岸が1日に受けるエネルギーと背後の崖状の侵食高さを図-6 に示す。侵食高さは図-7 のように定義した。観測した離岸堤はヨシ原再生を目的に、護岸を取り除き設置した。そのため、侵食高さは離岸堤の透過波の影響を大きく受けていると考えられる。

図-6 より、1日に河岸が受けるエネルギーが $5.0 \times 10^4 \text{Nm/m}$ 以上であると侵食高さは 0.5m 以上になり、顕著な侵食を受けると考えられる。そのため、天端高は堤体背後のエネルギーが $5.0 \times 10^4 \text{Nm/m}$ 以下となる A.P+1.8m 程度必要であると言える。また、A.P+2.2m の堤体背後は、下流側では侵食が抑制されているため、開口部が無ければ侵食は生じないと考えられる。しかし、堤体背後でも上流側では侵食が進行している。これは A.P+2.2m の離岸堤の開口部背後では A.P+1.8m 及び、A.P+1.6m の離岸堤と同程度のエネルギーを河岸が受けており消波されていないと考えられる。また、目視より離岸堤に進入してきた波は背後で流れに変わることが確認されている。そのため、消波されずに開口部を透過してきた波が河岸の地形の変化に沿い、上流側へ流れとしてエネルギーを伝達し侵食が進んだと考えられる。

4. 結論

タンカーによる航走波の解析が可能となった。しかし、現段階では一般性を持つモデルとなっていないため、砕波の与え方など検討する必要がある。

小松川地区において河岸の侵食は1日に受けるエネルギーが $5.0 \times 10^4 \text{Nm/m}$ 以上の場所で侵食が顕著になることが確認された。また、侵食高さを 0.5m 以内に抑えるためには、天端高を A.P+1.8m 程度以上、開口幅を 6m 以下とする必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 瀬岡和夫, Serdar Beji, 大野修史: 新たな波動モデルによる強分散性非線形場の解析法の確立と室内実験による検証, 海岸工学論文集第41巻, pp11-15, 1994.
- 2) 細川真也, 福地捷二, 渡邊明英, 泊 宏: 荒川における航走波の数値解析, 第58回年次学術講演会講演要旨集(CD-ROM), II-188, 2002.
- 3) 瀬岡和夫, 田村 仁, 清川哲志: 多方向平面波浪場における非線形分散性波動の砕波モデルに関する研究, 海岸工学論文集 第46巻, pp-171, 175, 1999.

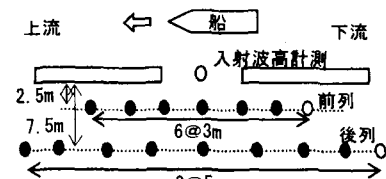


図-3 波高の計測位置(船上流向き)

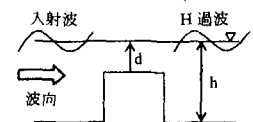


図-4 無次元化する諸元

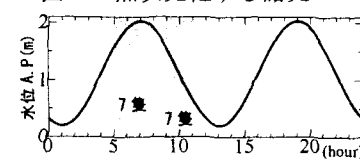


図-5 現地観測時の潮汐と荒川のタンカーの航行頻度

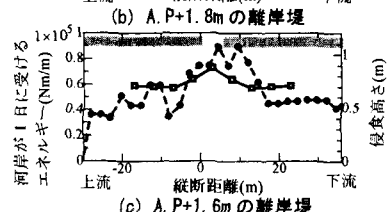
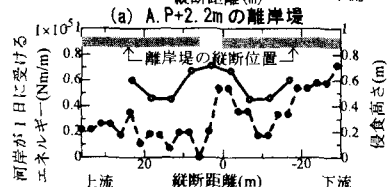
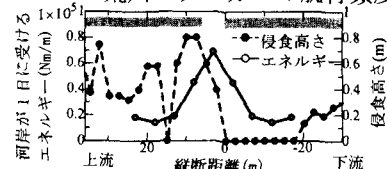


図-6 河岸位置のエネルギーと侵食高さ



図-7 侵食高さの定義