

荒川における航走波の数値解析

国土交通省
広島大学大学院正会員 細川真也
正会員 渡邊明英広島大学大学院 7FII-会員 福岡捷二
荒川下流河川事務所 正会員 石鉢盛一郎

1. 序論

荒川将来像計画の中では「荒川らしい自然の拠点」として、ヨシ原の回復および復元を目指している。しかし、荒川水際に生育するヨシ原は、通過する船が作る航走波によって侵食され、その維持管理が課題となっている。著者ら^{1),2)}は、荒川において大規模な航走波現地実験を行い、その伝播機構を明らかにし、これを、ヨシ原の維持・再生対策に生かしていくことを考えている。本研究は、その前段階として、平面2次元数値解析により、河岸に伝播する航走波の波形の見積もりを行うことを目的としている。

2. 解析方法

(1) 波動方程式

荒川河道中央の水深は6m程度であることから、航走波の相対水深は比較的大きくなり、航走波は長波の領域から外れる。また、これまでの著者らの研究より航走波は分散性を有する。これらを考慮に入れて、解析には多成分を連成させる事によって任意の相対水深場の解析が可能な強非線形強分散性波動方程式³⁾を用いる。本研究では、この波動方程式に船による移動座標の項を導入する。導入後の方程式系を式(1)から式(5)に示す。

【連続式】

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

【表面流速】

$$\bar{u}_0 = \sum_{m=1}^N \bar{u}_m, \quad w_0 = - \sum_{m=1}^N \nabla \cdot \left(\frac{B_m}{g} \bar{u}_m \right) \cdots (3)$$

【運動方程式】

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

【諸係数】

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

$$\omega_m^2 = gk_m \cdot \tanh k_m h \cdots (5)$$

η : 水位, $\bar{u}_m$: m成分流速, U_{ship} : 船の移動速度, h : 水深, k_m : m成分の波数

(2) 移動座標

解析上、船の移動による移流項には数値粘性が含まれる。解析領域が広がると、数値粘性による波エネルギーの減衰を無視する事はできない。従って、移流項に関しては4次精度の中央差分により解析を行う。

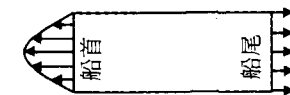
(3) 船の境界条件

既往の航走波解析における船の境界条件には、湧き出しと吸い込みにより流量で定義している。しかし、水深積分型の本波動方程式において、流量による境界条件を用いる場合、船の境界に特別な流速分布を与える必要があり、煩雑となる。そこで、

解析対象領域が広い場合は船の境界付近における運動を単純化し、船首と船尾に図-1に示す力の分布を船の境界条件として与える。船首における力の分布は放物線分布とし、船尾では一様分布とする。また、船首および船尾に与える力の大きさは式(6)および式(7)で表す。ただし、 $R_f = -F_f$ である。解析は水上バス型船9knot航行について行い、式(6)における抗力係数 C_D は1.125とした。

$$F_f = \frac{1}{2} C_D \cdot \rho \cdot b_w \cdot d \cdot |V| \cdot V \cdots (6)$$

b_w : 船幅, d : 吃水



$$F_f = \int_{-bw/2}^{bw/2} f_f(b) db, \quad F_r = \int_{-bw/2}^{bw/2} f_r(b) db$$

図-1 船のモデル

$$F_r = -(-R_f + M \cdot \alpha) \cdots (7)$$

M : 船の質量, α : 船の加速度

3. 解析結果

図-2は水上バス型船9knot航行の航走波の解析結果である。船の進行方向に対して垂直方向を x 軸と置く。写真-1は、実際に荒川を航行する水上バス型船が9knotで航行した航走波の船跡である。ただし、荒川に架かる橋梁上から撮影しているため、水平面に対して斜めからの撮影となっている。図-3は、航走波最大波高の変化を観測結果と解析結果について比較している。図-4は航路からの距離 x における航走波の時系列波形を観測結果と解析結果について比較している。

図-2の解析結果は押し波と引き波の違いを明確に現しており、写真-1の航走波波形をよく再現できている。図-3より、船速度9knotの解析は x 方向における最大波高変化を概ね再現できている。図-4において、解析結果は観測結果の波高および周期を概ね再現できている。ただし、 $x=30\text{m}$ と $x=75\text{m}$ において、波群の後続波の波高は解析結果の方が小さい。これは本モデルにおいて、船尾に与える力が小さいためであると考えられる。

4. 結論

任意の相対水深場において解析可能な強非線形強分散性波動方程式を用いることにより、河川における水上バス型船が造る航走波の解析を行い、河岸に向かう航走波形を表現できることを示した。

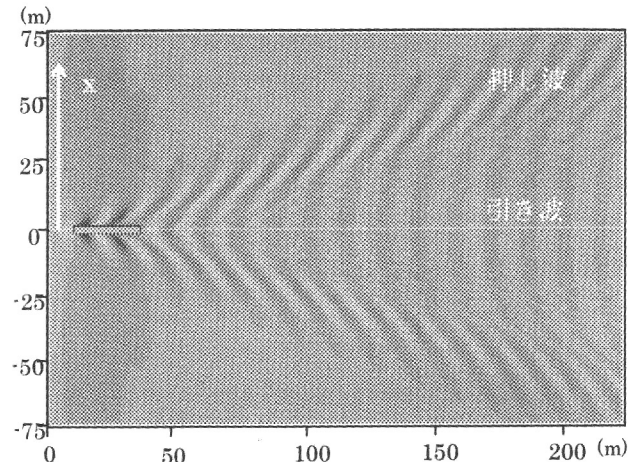


図-2 水上バス型船航走波の解析結果

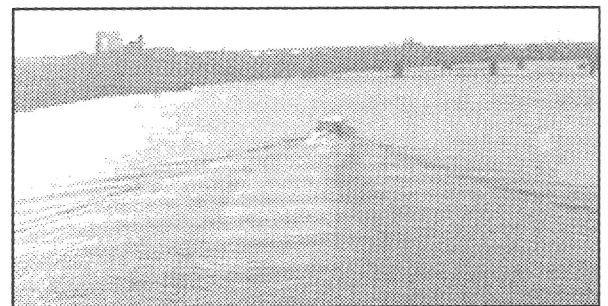


写真-1 水上バス型船航走波の写真

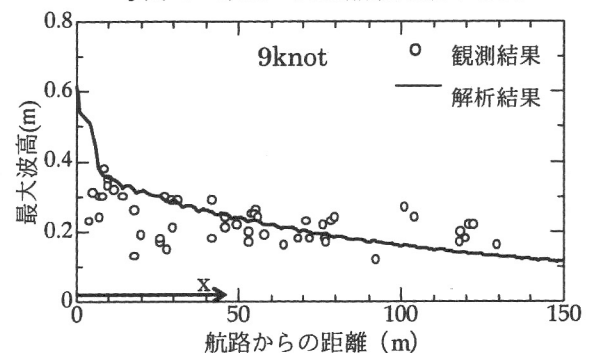


図-3 水上バス型船最大波高変化

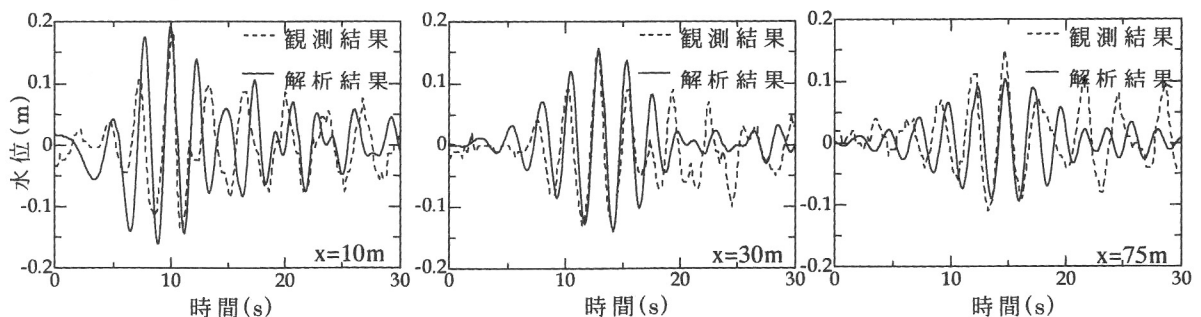


図-4 水上バス型船波形比較

参考文献

- 1) 福岡捷二, 渡邉明英, 細川真也, 泊宏, 京才俊則: 河道におけるタンカーの造る航走波の特性と離岸堤による河岸防護効果, 水工学論文集第46巻, pp445-450, 2002.
- 2) 細川真也, 福岡捷二, 渡邉明英, 泊宏: 荒川における航走波の現地観測, 年次学術講演会, 第57回, II-201, 2002.
- 3) 瀬戸和夫, Serdar Beji, 大野雅史: 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.