

諫早湾調整地におけるホテイアオイの流動予測に関する研究

長崎大学工学部 学生会員 濱野 太徳 長崎大学工学部 学生会員 溝口 博紀
 長崎大学工学部 正会員 西田 渉 長崎大学工学部 正会員 鈴木 誠二

1. はじめに

水生植物は生物の生息環境を構成する重要な因子の一つであり、適正な保全と管理が必要である。ここで取り上げるホテイアオイは、生育条件が揃うと大規模群落を形成するために、水域の水利用が物理的に阻害される。2008年には、長崎県の本明川旧河口周辺で大発生が起きており、排水門操作に支障をきたす恐れがあることから国土交通省によって除去された¹⁾。2009年に前年のようなホテイアオイの繁殖は観察されなかったが、環境条件が整うと再び大発生することが予想されるため、今後も継続的な注意が必要とされる。

そこで本研究では、これまでに開発してきた流れの数値シミュレーションモデルに、ホテイアオイの相互作用に個別要素法を適用したモデルを構築し、河川からの洪水の流入に伴う移動過程と流達範囲を予測・評価した。

2. 流動予測モデル

ホテイアオイの運動の定式化にあたり、個体を仮想的に円柱状の浮体要素とし、水平面内の並進と回転の各運動のみを取り上げる。解析に用いたホテイアオイを表現する要素の運動方程式を以下に示す。

$$\begin{aligned} (m_p + m_f C_M) \frac{du_p}{dt} &= m_f (1 + C_M) \frac{du}{dt} - m_p g \frac{\partial H}{\partial x} \\ &+ \frac{1}{2} C_{Df} \rho A_f \sqrt{(u - u_p)^2 + (v - v_p)^2} (u - u_p) \\ &+ \frac{1}{2} C_{Dw} \rho_a A_w \sqrt{(w_x - u_p)^2 + (w_y - v_p)^2} (w_x - u_p) + F_x \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} (m_p + m_f C_M) \frac{dv_p}{dt} &= m_f (1 + C_M) \frac{dv}{dt} - m_p g \frac{\partial H}{\partial y} \\ &+ \frac{1}{2} C_{Df} \rho A_f \sqrt{(u - u_p)^2 + (v - v_p)^2} (v - v_p) \\ &+ \frac{1}{2} C_{Dw} \rho_a A_w \sqrt{(w_x - u_p)^2 + (w_y - v_p)^2} (w_y - v_p) + F_y \end{aligned} \quad (2)$$

$$I_p \frac{d\omega_p}{dt} = T - T_{sr} \quad (3)$$

ここに、 m_p ：要素の質量、 m_f ：要素の排水体積に相当する水の質量、 ρ ：流水の密度、 ρ_a ：大気密度、 C_M ：付加質量係数、 u_p 、 v_p ：要素の x 、 y 軸方向の速さ、 g ：重力加速度、 H ：水位、 C_{Df} 、 C_{Dw} ：流水ならびに風による抗力係数、 A_f 、 A_w ：要素の水面下ならびに水面上の水平投影面積、 u 、 v ：水表面付近にお

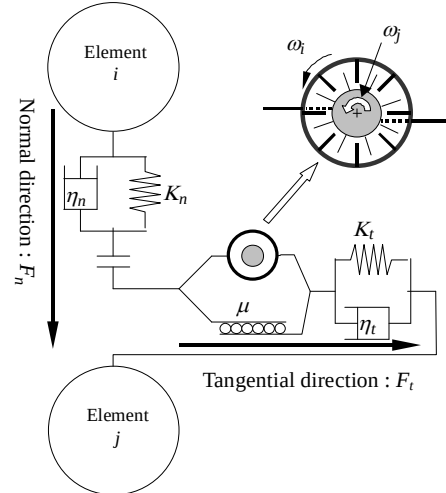


図-1 衝突要素間の作用力のモデル化

ける x 、 y 軸方向の流速、 w_x 、 w_y ： x 、 y 軸方向の風速、 I_p 、 ω_p ：要素の慣性モーメントと角速度、 F_x 、 F_y 、 T ：要素の衝突によって生じる x 、 y 軸方向の作用力とトルク、 T_{sr} ：要素の浸水面に生じる水と要素間に生じる回転の抗する力である。ホテイアオイの個体同士の衝突や接岸の際に生じる作用力には個別要素法²⁾を適用し、粘弾性体モデルとして評価する。具体的には、図-1に示されるとおりであり、衝突位置の法線方向と接線方向に一組の弾性バネとダッシュポットを配した形式で表現している。なお、今回は水の流れや風による外力で生じる衝突であり、離散後の個体に永久変形は残らないものとする。

3. 計算条件

流れの数値計算にあたり諫早湾調整地を水平方向に一定の差分間隔 $\Delta x = \Delta y = 50\text{m}$ で分割している。鉛直方向には、表層を T.P. -1.5m 以浅とし、それ以深を $\Delta z = 0.25\text{m}$ とした。調整池内の潜堤などは不透水性の薄壁として取り扱っている。時間差分間隔について、流れの計算では $\Delta t = 1.0\text{s}$ とした。個別要素の計算は $\Delta t_d = \Delta t / 40\text{s}$ とし、流れの計算と並行して計算させている。今回のシミュレーションでは、要素の半径 0.40m とし、要素は、現地での密生が確認された本明川旧河口から伸びた滞筋と側岸部に 24,867 個を静止状態で千鳥状に配した。要素位置における流速は、流れのモデルの計算値を双一次内挿し、評価している。

4. 流動予測結果

(1) 流速ベクトルの空間分布

計算条件から求められた表層での流速ベクトルの空間分布は図-2のとおりである。

この時刻までに 46mm の降雨が観測されている。洪水の流入によって各河川の河口部付近で速い流れが

現れる。北部水域では、流域面積の最も広い本明川からの流入に影響を受けた流速ベクトルの分布となっており、本明川からの河川水は北部捷水路を $0.3 \sim 0.45\text{m/s}$ 程度の流速で流下する。計算結果によると、この流れは小江干拓地から潮受堤までの区間において、北岸にある別の河川からの洪水流によって流向を変えており、調整池の中央部へ向うようになる。この後の継続的な洪水の流入に伴う水位の上昇によって、さらに沿岸の一部が水面下に没し、その面積は 1.275km^2 と算定された。一方で、貯留水の排水中には、各水門の低層部から排水するものと設定しているが、表層においても排水操作に影響を受けた流れが現れることが示されている。

(2) 要素の移動分布

要素の空間分布について、計算開始以降の移動状況を示すと図-3のとおりであり、15時間経過後の要素の位置を表示している。

シミュレーション結果によると、要素は計算開始後に比較的速やかに移動し始めるものの、それらの多くは、洪水流等による作用力を受けて、一度、河岸に集積する。その後、これら集積域を離脱した要素が断続的に北部捷水路に流出し、個々の要素が帯状に分布しながら、下流側へと流送される。今回の条件では、計算開始から12時間後には小江干拓地の前面付近に到達してきている。

さらに潮受堤方向に流下した要素は、図-2に示された流れに影響されながら調整池の中央部側へと移動し続け、排水門の操作直前には、一部の要素が潮受堤から887.6mの地点まで達している。排水時間中には、北部排水門へ向う流れが現れるために、多くの要素が同排水門方向に移動する。その内、計算開始から18時間後に図-3の領域(7)に分布していた要素は、排水中に領域(1)に流送され、最終的に北部排水門に到達している。排水操作の終了以降に排水門へ到達する要素はなかったが、潮受堤に沿って南下する流れが継続的に現れていたこともあって、計算終了までに、さらに11個の要素が潮受堤に到達する結果となった。

以上のとおり多くの要素は、洪水の流入と排水門操作によって生じた流れや風による作用力を受けて、潮受堤方向へと流送される。その一方で、計算終了時においても本明川旧河口周辺に2,881個の要素が残留している。これは、洪水流入時の河岸への集積によって要素の移動が相互に阻害されたために、主たる流水部である北部捷水路への流出が遅れたこと、また、洪水低減期以降には、排水時においても同領域での流れが洪水流入期ほどには発達しなかったことが主な理由として挙げられる。

5. おわりに

本研究では、諫早湾調整池におけるホテイアオイの流動予測手法の構築を目指して、浮水性植物を個別要素とした流動モデルを構成した。また、当水域への洪水の流入から排水終了までの間の移動過程と流達範囲を予測・評価した。今後は、ホテイアオイの物理的性状や流水抵抗等に関する室内実験をさら

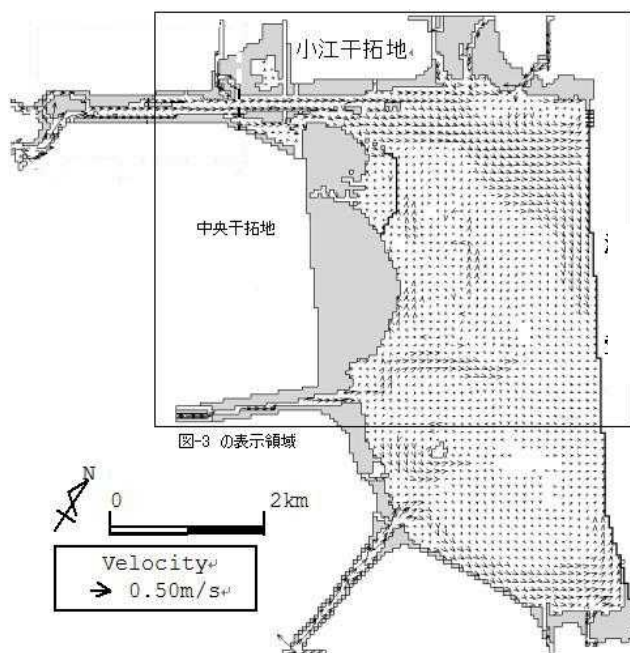


図-2 流水流入時の流速ベクトルの空間分布

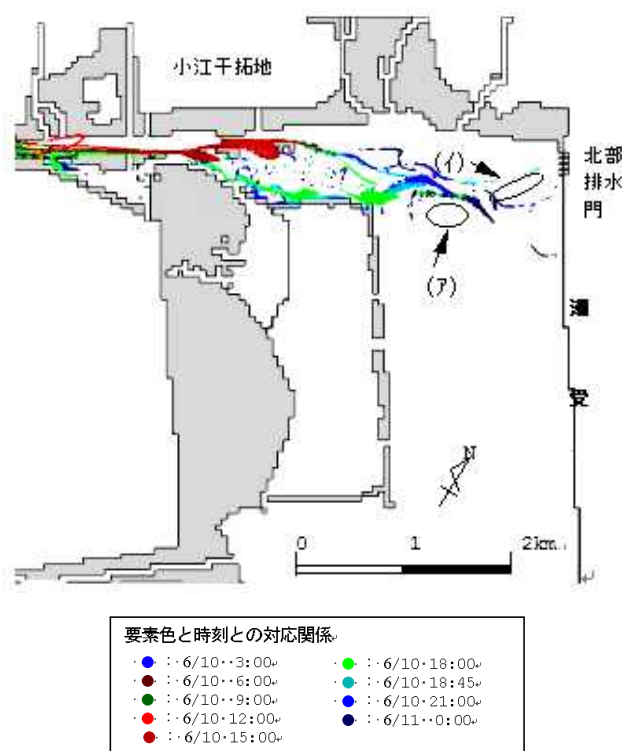


図-3 要素の時空間分布

に進めると共に、モデル化の妥当性について検討したい。

参考文献

- 1) 朝日新聞 2008年11月8日
- 2) 粒状体力学に関する国内委員会：粒状体の力学，土質工学会，pp.283-286，1993