

植生域氾濫流の平面二次元数値計算法

秋田大学 学生員○伊藤史臣 学生員 今井健太郎 正員 松富英夫

1. はじめに これまで、津波や洪水の氾濫流のように長波（静水深）近似が可能な流れを対象として、力学的にばかりでなく幾何学（体積）的にも植生の存在を考慮した植生域氾濫流の基礎式を誘導し、従来のものとの差などを論じてきた。

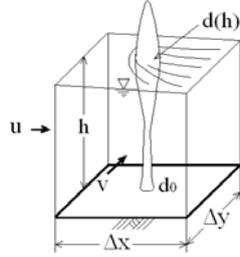


図-1 植生域などの氾濫流場のモデルと記号の定義

本研究では、誘導した基礎式を二次元平面計算へと拡張し、二次元性の強い流れ場における水理実験結果との比較を通してその妥当性を検討することを目的としている。

2. 植生域氾濫流基礎式 図-1に植生などの氾濫流場モデルと記号の定義である。式(1), (2), (3)に植生域氾濫流基礎式を示す。

$$\left\{1 - \frac{\kappa(h)}{100} - \frac{\kappa(h)}{50} \frac{h}{d} \frac{dd}{dh}\right\} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & \left\{1 + \frac{\kappa(h)}{100} C_{Mx}\right\} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h}\right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h}\right) + gh \frac{\partial h}{\partial x} = \\ & - \left\{1 - \frac{\kappa(h)}{100}\right\} i_x gh - \left\{1 - \frac{\kappa(0)}{100}\right\} \frac{gn_0^2}{h^{7/3}} p \sqrt{p^2 + q^2} \\ & - \frac{\kappa(h)}{50\pi} C_{Dx} \frac{p \sqrt{p^2 + q^2}}{d^2 h^2} A \\ & - \frac{\kappa(h)}{50} \frac{\left(\frac{q}{d} \frac{dd}{dh} + \frac{1}{2} C_{My} \frac{q}{h}\right)}{\left\{1 - \frac{\kappa(h)}{100} - \frac{\kappa(h)}{50} \frac{h}{d} \frac{dd}{dh}\right\}} \left(\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y}\right) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} & \left\{1 + \frac{\kappa(h)}{100} C_{My}\right\} \frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h}\right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h}\right) + gh \frac{\partial h}{\partial y} = \\ & - \left\{1 - \frac{\kappa(h)}{100}\right\} i_y gh - \left\{1 - \frac{\kappa(0)}{100}\right\} \frac{gn_0^2}{h^{7/3}} q \sqrt{p^2 + q^2} \\ & - \frac{\kappa(h)}{50\pi} C_{Dy} \frac{q \sqrt{p^2 + q^2}}{d^2 h^2} A \\ & - \frac{\kappa(h)}{50} \frac{\left(\frac{q}{d} \frac{dd}{dh} + \frac{1}{2} C_{Mx} \frac{q}{h}\right)}{\left\{1 - \frac{\kappa(h)}{100} - \frac{\kappa(h)}{50} \frac{h}{d} \frac{dd}{dh}\right\}} \left(\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y}\right) \end{aligned} \quad (3)$$

ここで h は浸水深, $d(h)$ は浸水した植生などと同じ浸水深・浸水体積を有する換算柱の直径または幅, $\kappa(h) (= \gamma d^2(h) / \Delta x \Delta y)$ は時々刻々の換算植生などの地面

占有率(%), $\Delta x, \Delta y$ は x, y 方向の植生など 1 物体あたりの氾濫域長, $p (= hu)$ と $q (= hv)$ は x, y 方向の水深平均の氾濫流速, g は重力加速度, i は底面勾配, n_0 は Manning の粗度係数, C_D は抗力係数, $C'_M (= C_M - 1)$ は付加質量係数, $A(y' dh)$ は流れ方向の植生などの投影面積, 下添文字 x, y は x, y 方向の量であることを示す。

3. 植生の投影面積 植生を例えば円柱に換算して議論する場合、樹幹部に空隙があるため、抗力の投影面積の評価では工夫が必要である。そこで、植生と換算円柱の浸水深と浸水体積を一致させ、樹幹部は一様な空隙を有する円柱、植生全体は樹幹部と樹冠部の 2 種類の円柱からなるとしたときの投影面積 A は次式となる。

$$A = hd(h) \quad (h \leq h_r) \quad (4)$$

$$A = h_r d(h_r) + \sqrt{\frac{1}{1-\lambda} \{hd^2(h) - h_r d^2(h_r)\}} (h - h_r) \quad (h_r < h \leq h_H) \quad (5)$$

$$A = h_r d(h_r) + \sqrt{\frac{1}{1-\lambda} \{h_H d^2(h_H) - h_r d^2(h_r)\}} (h_H - h_r) \quad (h_H < h) \quad (6)$$

ここで、 h_r は地面から樹冠部下端までの高さ、 h_H は樹高、 λ は樹冠部の空隙率を示す。

4. 植生域氾濫流の計算

(1) 計算方法 本研究における再現計算（水理実験）は図-2に示す実験水路を地形条件とし、一様斜面勾配 $S=1/26$ 、陸域勾配 $S=0$ 、貯留水深 $h_0=0.16m$ 、静水深 $h_0=0.0667m$ の場合である。計算条件は $\Delta x=0.03m$ 、 $\Delta t=0.0025s$ とした。式(2), (3)中の植生補正項について、植生モデルを正確に表現（把握）することは難しく、本計算での dd/dh や、 $d(h)$ について直接計算すると不安定性の要因となる。故に、既報と同じく実験モデルに基づいた水深と換算直径に関する回帰曲線により近似的に評価することにした。計算手法については、従来の Staggered leap-frog 法を用い、陸上水平床での先端条件は式(7)に示す松富の仮想水深法を用いた。

$$\sigma = \Delta h / \Delta x \leq 1 \times 10^{-3} \quad (7)$$

ここで Δh は仮想水深で、本研究では $\sigma = 1.0 \times 10^{-4}$ を採用する。平面二次元計算では Δx と Δy は格植生を完全に

包含する大きさでなくてはならない。

植生模型については $d(0)=d(h_{tr})=4.0\text{mm}$, $h_H=0.072\text{m}$, $h_{tr}=0.015\text{m}$, $\lambda=0.96$, $n_0=0.018$, C_D と C_M は円柱に対する標準値, 1.0 と 2.0 を採用している。

(2) 実験 氾濫流はゲート急開流れで模擬し, 植生模型は陸上部始端から 0.12~0.39mの範囲に水路半分 に等植生密度で千鳥配置した. 配置本数は 13 本である。

(3) 水理実験再現計算結果と考察 平面二次元計算の波高空間分布を 図-3,4 に示す. 図-3 は水位(ゲート下流側の静水面位を基準)の経時的な空間波形で, ゲート急開時を $t=0$ としている. 図中, 上段から植生が配置されていない側(NO VEGETATED AREA), 水路中央(CENTER LINE), 植生配置側(VEGATATED AREA)の空間波形を示す. 図-4 は水路下流端から 4m までの水位分布である。

図-5,6 は浸水深 h と 氾濫流速 u の時間波形である. $4t/T$ はゲート急開からの時刻を 1/4 周期で無次元化したものであり, 下添字の 1, 2 は陸上部海側, 陸側の区別を示す. 実験値と計算結果はそれぞれ実線と破線で示した. 浸水深と流速において実験値, 計算値は共に同様の傾向を示していることが判る. また植生の無い陸側において流速は海側よりも大きくなっており, 計算結果も同様の傾向を示した. また, 計算値は植生に反射波が少し早めに生じており, 植生背後の陸側浸水深では過大評価傾向がある. これは, 植生による流れの 3 次元性に起因しており, 長波近似の本基礎式では植生の樹冠部と樹幹部に生じる内部剪断流が表現出来ないためと考えられる。

5. おわりに 既報の植生域氾濫流基礎式を平面二次元計算へと拡張し, 二次元性の強い流れ場の再現計算を行い, 本基礎式を用いた植生域の氾濫計算を安定的に行えることを確認した. 今後の課題としては植生の撓みや揺動, 流れの三次元性を考慮し, より正確に植生域内の流れ場を再現することが必要である。

参考文献

後藤智明・小川由夫(1985):Leap-frog 法を用いた津波の数値計算法, 東北大学土木工学科, p. 52.
 松富英夫(1990):東北地域災害科学研究, 26 卷, pp. 63-65
 舟木真智ら(2006):植生域氾濫流の数値計算法に関する研究, 土木学会東北支部概要, pp. 334-335

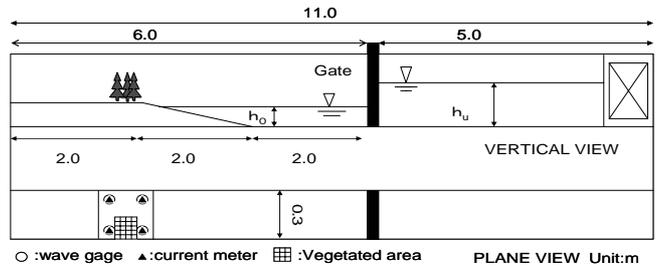


図-2 実験水路の概略

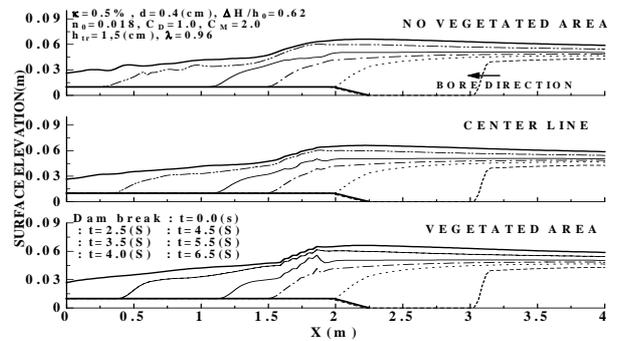


図-3 水位空間波形

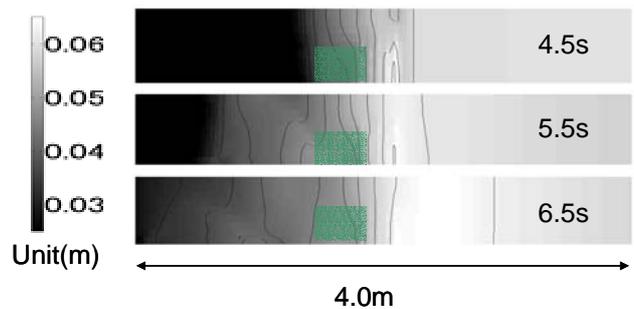


図-4 水位分布

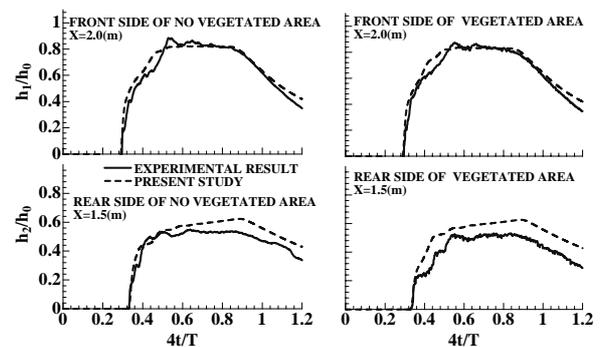


図-5 浸水深の時間波形

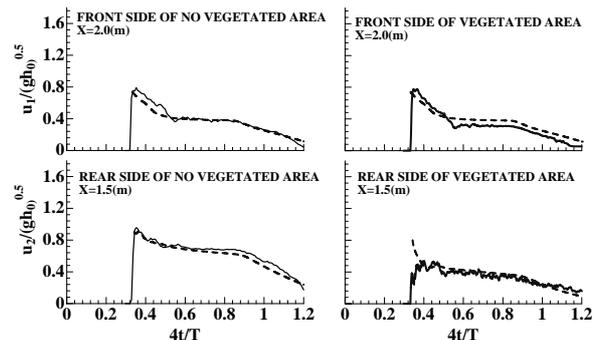


図-6 流速の時間波形