

II-96 植生域氾濫流の数値計算法に関する研究

秋田大学 学生員 ○舟木真智 正員 松富英夫 学生員 今井健太郎

1. はじめに 津波や洪水の氾濫流のように長波（静水圧）近似が可能な流れを対象として、著者らによって植生の存在を考慮した植生域氾濫流の基礎式を誘導し、従来の式との差などが論じられた¹⁾。本研究は、植生の投影面積の評価法をより一般的なものにし、その植生域氾濫流の計算例を示す。

2. 植生域氾濫流基礎式 図-1に植生域などの氾濫流場のモデルと諸記号の定義を示す。図中、 Δx と Δy は各々 x と y 方向の植生など1物体当たりの氾濫域長、 u , v は x , y 方向の断面平均流速である。植生の抵抗を抗力と慣性力で表現したときの、植生域内の氾濫流における質量と運動量の保存則は次式となる。

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

$$\left\{1 + \frac{\kappa(h)}{100} C_M'\right\} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h}\right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h}\right) + gh \frac{\partial h}{\partial x} = -\left\{1 - \frac{\kappa(h)}{100}\right\} i_s gh - \left\{1 - \frac{\kappa(0)}{100}\right\} \frac{g n_0^2}{h^{7/3}} p \sqrt{p^2 + q^2} - \frac{\kappa(h)}{50 \pi} C_D \frac{p \sqrt{p^2 + q^2}}{d^2 h^2} A - \frac{\kappa(h)}{50} \left\{1 - \frac{\kappa(h)}{100} - \frac{\kappa(h) h}{50} \frac{dd}{dh}\right\} \left(\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y}\right), \quad (2)$$

$$\left\{1 + \frac{\kappa(h)}{100} C_M'\right\} \frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h}\right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h}\right) + gh \frac{\partial h}{\partial y} = -\left\{1 - \frac{\kappa(h)}{100}\right\} i_s gh - \left\{1 - \frac{\kappa(0)}{100}\right\} \frac{g n_0^2}{h^{7/3}} q \sqrt{p^2 + q^2} - \frac{\kappa(h)}{50 \pi} C_D \frac{q \sqrt{p^2 + q^2}}{d^2 h^2} A - \frac{\kappa(h)}{50} \left\{1 - \frac{\kappa(h)}{100} - \frac{\kappa(h) h}{50} \frac{dd}{dh}\right\} \left(\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y}\right) \quad (3)$$

ここで、 $\kappa(h)$ ($=\gamma d^2(h)/\Delta x \Delta y$) は時々刻々の植生などの地面占有率(%), 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や幅, $d(0)$ ($=\sqrt{\kappa(0)\Delta x \Delta y/\gamma}$) は底面での換算柱の直径や幅, p ($=hu$) と q ($=hv$) は x と y 方向の単位幅流量, 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, C_M は質量係数, A ($=\gamma dh$) は流れ方向の植生などの投影面積, 下添字 x , y は x , y 方向の量であることを示す。我が国の水防林や海岸林に多い黒松の実測（幼木）によれば²⁾, $d(h)$ はほぼ一定である。この場合、 $dd/dh=0$ となり、式(2)と(3)

はかなり簡素化でき、数値的に解き易くなる。

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、樹冠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、図-1 氾濫流場モデル植生と換算円柱の浸水深と浸水体積を一致させ、樹冠部は一樣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。

$$A = hd(h) \quad \text{for } h \leq h_r, \quad (4)$$

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

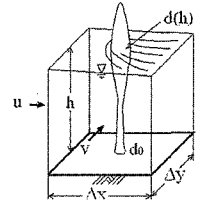
$$A = h_r d(h_r) + \sqrt{\frac{1}{1-\lambda} \{h_H d^2(h_H) - h_r d^2(h_r)\} (h_H - h_r)} \quad \text{for } h_H < h \quad (6)$$

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。

この方法で投影面積を評価した場合、水理実験により算定される抗力係数は 1.0 程度となり、円柱物体に用いる抗力係数に近い。

4. 植生域氾濫流の計算

(1) 計算方法 植生域氾濫流基礎式の妥当性を確認するために、水理実験の再現計算を行った。水理実験に用いた実験水路の概略を図-2に示す。氾濫流はゲート急開流れで模擬した。本研究における再現計算は図-2に示す水路を地形条件とし、一樣斜面勾配 $S=1/26$ 、陸域勾配 $S=0$ 、貯留水深 $h_U=0.16\text{m}$ 、静水深 $h_0=0.0667\text{m}$ 、無次元入射段波波高が $\Delta H/h_0=0.62$ （強い段波）の場合である。計算手法については、従来³⁾の Staggered leap-frog 法を用い、陸上水平床での先端条件は松富⁴⁾の仮想水深法を用いた。計算条件は $\Delta x=0.01\text{m}$ 、 $\Delta t=0.001\text{s}$ である。式(2)、(3)中の植生補正項については植生模型から直接評価した。しかし、植生模型を正確に表現（把握）することが難しいので、精度の点で問題がある。 dd/dh , $d(h)$ と水深の関係を図-3に示す。本計算での dd/dh や、 $d(h)$ について直接計算すると不安



定性の要因となるので、実験模型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した。

(2) 水理実験再現計算の結果と考察 一次元計算結果の波高空間分布を図-4に、水理実験結果⁵⁾との比較を図-5に示す。植生模型については $d(0)=d(h_r)=4.0\text{mm}$ 、 $h_H=0.072\text{m}$ 、 $h_r=0.015\text{m}$ 、 $\lambda=0.96$ 、 $\kappa(0)=0.11\%$ 、 $n_0=0.018$ 、 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。図-4は波高（ゲート下流側の静水面を基準）の経時的な空間分布である。x軸は水路下端からの距離を示している。図中、上段から本研究の基礎式による計算結果（STUDY-1）、既報の基礎式¹⁾によるもの（STUDY-2）、植生域が存在しない場合の計算結果である。STUDY-1では水面形が複雑になっているが、これは投影面積の評価により植生を配置しているメッシュで抵抗が大きくなり、植生を配置していないメッシュとの差が大きくなった結果である。図-5は浸水深 h と流速の時間波形である。下添字の1と2は植生域海側と陸側の区別を示す。x軸はゲート急開からの時間 t を1/4周期で無次元化したものである。流速の立ち上がりについては、1点法による測定のため、計算値は実験値による立ち上がりと同時刻から示している。図によると、STUDY-1はSTUDY-2より植生による反射が大きく、植生域を透過する氾濫流も弱まっていることが判る。これもまた、投影面積の評価により抵抗が大きくなったためと考えられる。実験値と比較した場合、浸水深と流速がよりよく再現されているのはSTUDY-1である。そして、実際の植生域での植生密度は約0.5%程度で計算でのものより大きく、今回の実験値との比較よりも顕著にその差が現れると考えられる。これらは植生の投影面積の評価、ひいては抗力評価が改善されたことを示したといえる。

5. おわりに 植生域を対象とした氾濫流の計算例を示し、抗力に大きく関係する植生の投影面積の評価に関してより一般的なものにした。

参考文献

- 1) 松富ら：海岸工学論文集，第51巻，pp.301-305，2004.
- 2) 鈴木・松富：東北地域災害科学研究，第41巻，pp.69-73，2005.
- 3) 後藤・小川：東北大学土木工学科，p.52，1982.
- 4) 松富：東北地域災害科学研究，第26巻，pp.63-65，1990.
- 5) 今井ら：海岸工学論文集，第51巻，pp.306-310，2004.

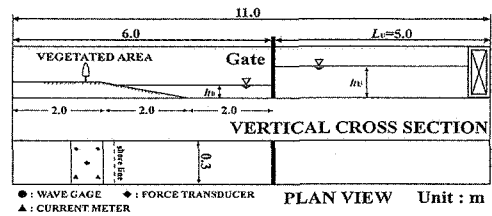


図-2 実験水路の概略

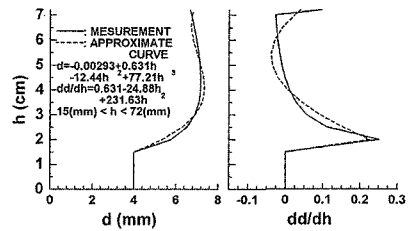


図-3 d と dd/dh の変化例

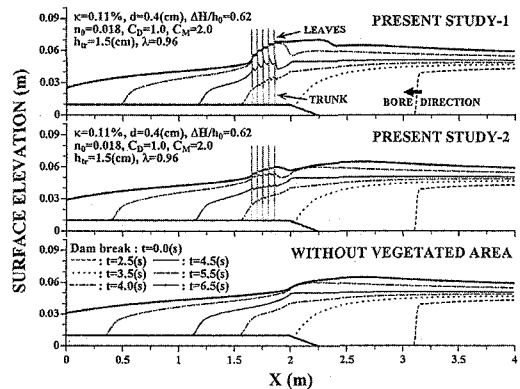


図-4 波高の空間分布

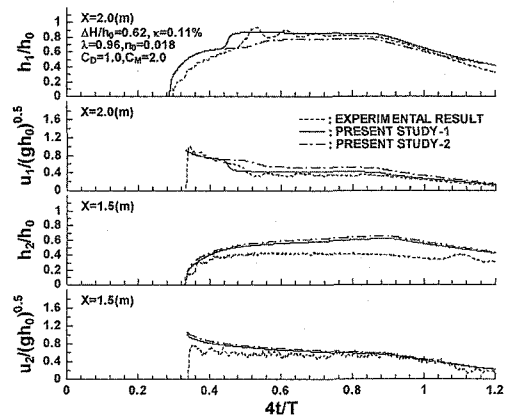


図-5 水理実験結果との比較