

複層林域を氾濫する津波の数値計算

秋田大学 学生員 ○蒲生祥太郎 学生員 岡本憲助 正員 松富英夫

1. はじめに これまで単層林の植生を対象に数値計算を行ってきたが、実際の植生域では複層林の場合が多い。

本研究では 2 種類の高さの植生がある場合(二段林)を対象に数値計算を行い、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する。

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

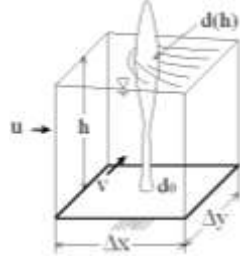


図-1 植生域などの氾濫流場のモデルと記号の定義

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

$$\begin{aligned} & \left\{1 + \frac{\kappa(h)}{100} C'_{Mx}\right\} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial h}{\partial x} = \\ & - \left\{1 - \frac{\kappa(h)}{100}\right\} i_x gh - \left\{1 - \frac{\kappa(0)}{100}\right\} \frac{gn_0^2}{h^{7/3}} p \sqrt{p^2 + q^2} \\ & - \frac{\kappa(h)}{50\pi} C_{Dx} \frac{p \sqrt{p^2 + q^2}}{d^2 h^2} A \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} & - \frac{\kappa(h)}{50} \frac{\left(\frac{q}{d} \frac{dd}{dh} + \frac{1}{2} C_{My} \frac{q}{h} \right)}{\left\{1 - \frac{\kappa(h)}{100} - \frac{\kappa(h)}{50} \frac{h}{d} \frac{dd}{dh}\right\}} \left(\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} \right) \\ & \left\{1 + \frac{\kappa(h)}{100} C'_{My}\right\} \frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + gh \frac{\partial h}{\partial y} = \\ & - \left\{1 - \frac{\kappa(h)}{100}\right\} i_y gh - \left\{1 - \frac{\kappa(0)}{100}\right\} \frac{gn_0^2}{h^{7/3}} q \sqrt{p^2 + q^2} \\ & - \frac{\kappa(h)}{50\pi} C_{Dy} \frac{q \sqrt{p^2 + q^2}}{d^2 h^2} A \end{aligned} \quad (3)$$

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(%), Δx と Δy は x と y 方向の植生など 1 物体あ

りの氾濫域長、 $p(=hu)$ と $q(=hv)$ は x と y 方向の単位幅流量、 u と v は x と 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、 $A(=\gamma' dh)$ は流れ方向の植生などの投影面積、下付きの文字 x と y は x と y 方向の量であることを示す。

3. 植生の投影面積 植生を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、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。

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

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

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

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方法 本研究における再現計算と水理実験は図-2 に示す実験水路を地形条件とし、一樣斜面勾配 $i=1/26$ 、陸域勾配 $i=0$ 、貯留水深 $h_1=0.15\text{m}$ 、静水深 $h_0=0.0667\text{m}$ である。計算における格子間隔は $\Delta x=0.03\text{m}$ 、 $\Delta t=0.0025\text{s}$ とした。式(2), (3)中の植生補正項での dd/dh や $d(h)$ については植生模型を正確に表現(把握)することが難しく、直接計算すると不安定性の要因となる。よって、既報と同じく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することとした。計算手法については、従来の Staggered leap-frog 法¹⁾を用い、陸上での先端条件は式(7)に示す松富の仮想水深法²⁾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 は各植生を完全に包含する大きさでなくてはならない。植生模型は 2

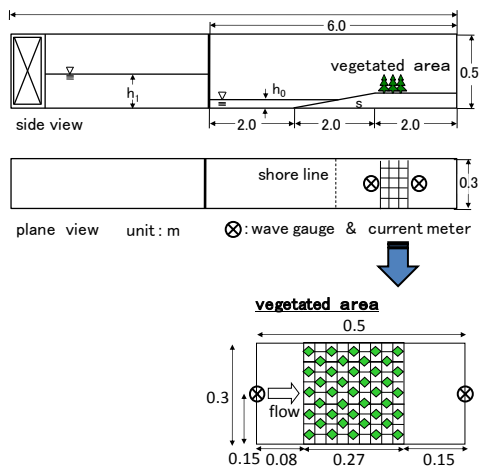


図-2 実験水路と植生域の概略

表-1 植生の種類

	MODEL 1	MODEL 2
h_H	72 (mm)	45 (mm)
h_{tr}	15 (mm)	10 (mm)
$d(0)=d(h_H)=2.4$ (mm) $\lambda=0.89$		
$C_D=1.0$ $C_M=2.0$ $N_0=0.018$ $\kappa(0)=0.18$ (%)		

表-2 植生の配置パターン

植生域	0.08cm~0.20cm	0.20cm~0.23cm	0.23cm~0.35cm
PATTERN 1	MODEL 1		
PATTERN 2	MODEL 2	MODEL 1	
PATTERN 3	MODEL 1		MODEL 2
PATTERN 4	MODEL 1とMODEL 2を交互に配置		

種類あり、それぞれ MODEL 1, MODEL 2 とし、表-1 のように定義している。

5. 水理実験 氾濫流はゲート急開流れで模擬し、植生域は水平な陸上部の始端から 0.08~0.35m の範囲に等植生密度で千鳥に配置した。配置本数は 41 本であり、2 種類の植生は、表-2 のように配置した。

6. 実験結果と計算結果の比較と考察 図-3, 4 は植生域前後の浸水深 h と氾濫流速 u の時間波形である。実験値と計算結果はそれぞれ実線と破線で示している。浸水深と流速において、実験値と計算値はともに同じ傾向を示していることが判る。PATTERN2 と 3 の実験値において、浸水深は PATTERN2>PATTERN3 なのに対して、氾濫流速は PATTERN2<PATTERN3 であり、妥当な結果となっている。計算結果は植生背後の浸水深、氾濫流速ともに過大評価傾向である。この理由として、植生の投影面積が実際より過小評価され、植生域の堰止め効果が小さくなったことが考えられる。また、植生の配置パターンによって計算結果が著しく変わることはなかった。

7. おわりに 植生域の背面において数値計算結果が過大評価となった。今後の課題としては、植生の投影面積をより正確にモデル化し、植生域内の流れ場を

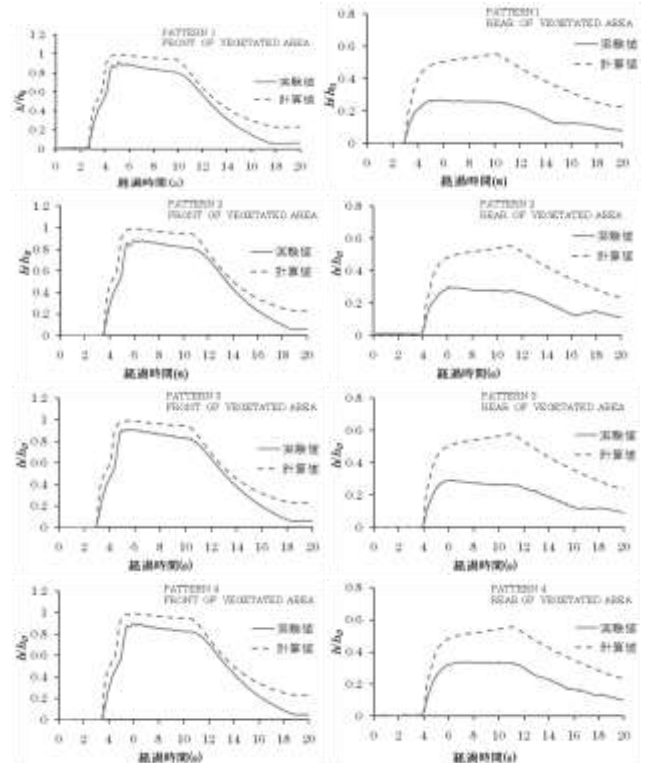


図-3 浸水深の時間波形

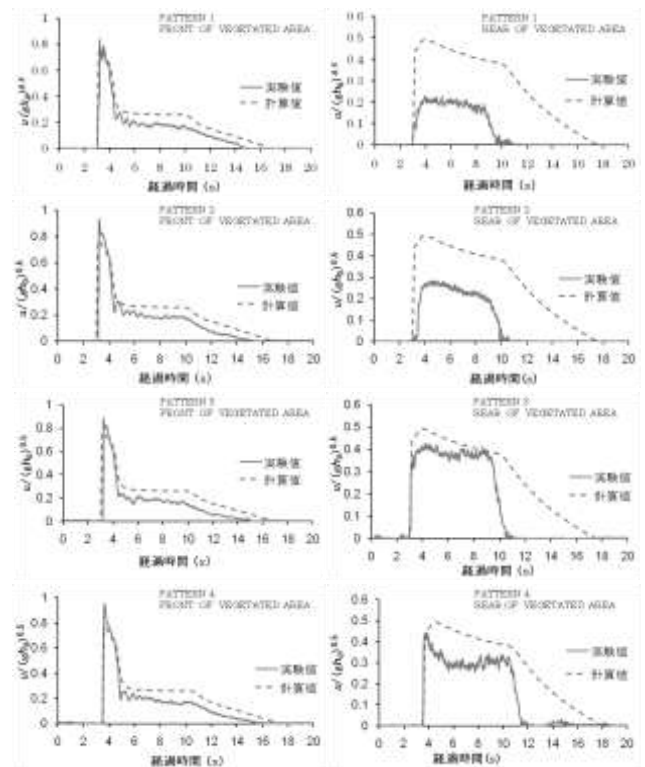


図-4 氾濫流速の時間波形

より正確に再現することである。

参考文献

- 1) 後藤・小川: Leap-frog 法を用いた津波の数値計算法, 東北大学土木工学科, 52p., 1982.
- 2) 松富: 東北地域災害科学研究, 26 巻, pp.63-65, 1990.
- 3) 舟木ら: 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, 2006.