

II-26

植生域氾濫流の基礎式と植生樹幹部の相似則

秋田大学 正員 ○松富 英夫 学生員 大沼康太郎 今井健太郎

1. はじめに

植生が絡んだ流れの研究が盛んに行われている。著者らも、津波対策の一つである防潮林の津波減勢効果などを明らかにする目的で、植生模型を用いた実験的研究を行ってきた^{1), 2)}。その際に先ず悩んだのが、対象樹種をどのように模型化すればよいかということである。次に悩んだのが基礎式である。既往の植生域氾濫流の基礎式³⁾は抗力項と慣性力項を取り入れていることを除けば、植生の存在を無視している。

そこで、本研究は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、植生域における基礎式と黒松などの樹幹部に適用できる相似則の検討を行うものである。

2. 植生域氾濫流の基礎式

簡単のため一次元（ x 軸）で議論を進める。本義論の平面二次元（ x, y ）への拡張は容易である。図-1 に植生域氾濫流場のモデルと諸記号の定義を示す。 u は水深平均の氾濫流速、 h は浸水深、 $d(h)$ は浸水植生と同浸水深・同浸水体積を有する換算円柱直径、 $d_0 (=d(0))$ は植生根元の換算円柱直径、 Δx と Δy は植生 1 本当たりの植生域の長さ（ x 軸方向）と幅（ y 軸方向）である。

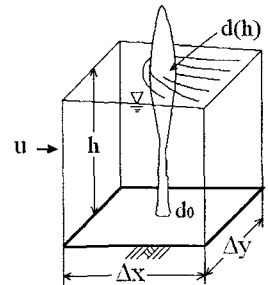


図-1 氾濫流場のモデル

(1) 連続式

図-1 に示す $\Delta x, \Delta y$ 領域への Δt 時間における質量の流入・流出量と同領域での Δt 時間における質量増加量を等置すると、次式を得る。

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

ここで、 $\kappa(h) (= \pi d^2 / 4 \Delta x \Delta y)$ は植生密度(%), q は単位幅流量である。式(1)には dd/dh 項がある。著者らが用いた植生模型の換算円柱直径 $d(h)$ と dd/dh の分布例を図-2 に示す。

(2) 運動方程式

$\Delta x, \Delta y$ 領域への Δt 時間における運動量の流入・流出量および圧力、重力、底面摩擦力、植生の抗力、慣性力、線形造波抵抗力²⁾による力積と同領域での Δt 時間における運動量増加量を等置すると、次式を得る。

$$\begin{aligned} \frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{q^2}{h} \right) + gh \frac{\partial h}{\partial x} = & - \left\{ 1 - \frac{\kappa(h)}{100} \right\} i gh \\ & - \left\{ 1 - \frac{\kappa(0)}{100} \right\} \frac{gn_0^2}{h^{7/3}} q |q| - \frac{\kappa(h)}{50\pi} C_D \frac{q|q|}{dh} + \frac{\kappa(h)}{100} C'_M \frac{\partial q}{\partial t} - \frac{\kappa(h)}{50} \theta' \frac{q}{d} + \frac{\kappa(h)}{50} \left(\frac{q}{d} \frac{dd}{dh} + \frac{1}{2} C'_M \frac{q}{h} \right) \frac{\partial h}{\partial t}. \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、 g は重力加速度、 i は底面勾配（上りが正）、 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、 θ' は線形造波抵抗係数である。

(3) 従来の植生域氾濫流の基礎式との比較

植生域氾濫流の基礎式として原田³⁾のものがある。本研究の諸記号を用いたときの連続式と運動方程式は各々次式である。

$$\begin{aligned} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = 0, \quad (3) \quad \frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{q^2}{h} \right) + gh \frac{\partial h}{\partial x} = & - i gh - \frac{gn_0^2}{h^{7/3}} q |q| - \frac{\kappa(h)}{50\pi} C_D \frac{q|q|}{dh} - \frac{\kappa(h)}{100} C'_M \frac{\partial q}{\partial t}. \end{aligned} \quad (4)$$

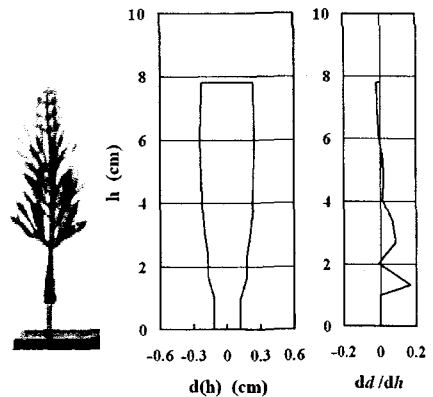


図-2 模擬植生とその換算円柱直径

式(1)と(3)の違いは明らかである。式(2)と(4)の違いは式(2)の右辺第1(重力)項の補正項, 第2(底面摩擦力)項の補正項, 第4(慣性力)項の係数と第6項である(第5項の線形造波抵抗力項は比較対象外)。

3. 植生樹幹部の相似則

氾濫流の流れ先端部は対象外とする。流速は水深方向にほぼ一様, 植生に作用する各種流体力(抗力, 慣性力, 線形造波抵抗力)では抗力が支配的²⁾とする。よって, 樹幹部が一様円柱と見なせるならば, 作用抗力も一様(等分布)と考えられる。

今, 図-3に示すように氾濫流速を u , 浸水深を h , 樹幹部を直径 d の直円柱とすれば, 単位水深当たりの抗力 p は,

$$p = \frac{1}{2} \rho C_D u^2 d. \quad (5)$$

また, 樹幹部は片持ち梁と見なせ, 樹幹高は水深 h より大で, 式(5)の抗力が等分布(C_D も一定と仮定)するならば, 水面での樹幹部の水平変位(撓み) δ は,

$$\delta = \frac{ph^4}{8EI}. \quad (6)$$

ここで, E は樹幹部の曲げ弾性係数, $I (= \pi d^4/64)$ は樹幹部の断面二次モーメントである。

式(5)を式(6)に代入すれば, 次式を得る。

$$\frac{C_D}{16} = \frac{EI\delta}{\rho u^2 dh^4}. \quad (7)$$

円柱の場合, Reynolds数($=ud/\nu$, ν :動粘性係数)が 10^3 程度を超えると, C_D はほぼ一定(0.8~1.2)である。よって, 円柱に対する相似則として次式を得る。

$$\left(\frac{Ed^3\delta}{\rho u^2 h^4} \right)_p = \left(\frac{Ed^3\delta}{\rho u^2 h^4} \right)_m. \quad (8)$$

ここで, 添字 p と m は各々原型と模型を示す。

氾濫流に対しては一般に次式のFroudeの相似則が適用される。

$$\frac{u_p}{u_m} = \sqrt{\frac{h_p}{h_m}} = \sqrt{\lambda}. \quad (9)$$

幾何学的な量 d, δ と h は原型と模型の縮尺比を統一すれば相似性が保証され, 式(8)と(9)から次式の最終的な相似則を得る。

$$\frac{E_p}{E_m} = \frac{\rho_p}{\rho_m} \lambda. \quad (10)$$

式(10)は表向きには(実際は樹齢や部位で E が異なる?)同樹種の模型を否定する。

黒松を対象とした検討例を表-1に示す。氾濫流速は実測⁵⁾における下限のFroude数 $=0.7$ を用いて推定しており, C_D は1.0を採用している。縮尺比1/200, 樹幹部にアクリル樹脂棒($E \approx 32 \times 10^3$)を用いた著者ら^{1), 2)}の実験は不適切だったと言わざるを得ない。現在著者らが用いているウレタンゴム(楢GMタイセー)の載荷荷重と撓みの関係を図-4に示す。 E は470kgf/cm²程度と評価され, 縮尺1/200程度の実験に適している。

4. おわりに

植生域氾濫流に対する基礎式を誘導した。今後, 基礎式のどの項が無視できるか検討する必要がある。氾濫流かつ樹幹部に対してであるが, 植生模型実験を行う際の簡単な相似則を示した。本相似則は表向きには同樹種の模型を否定する。

参考文献 1) 松富ら: 海岸工学論文集, 2001. 2) 今井ら: 海岸工学論文集, 2003. 3) 原田: 東北大学博士論文, 2003. 4) 平石ら: 海岸工学論文集, 2003. 5) 松富ら: 海岸工学論文集, 1998.

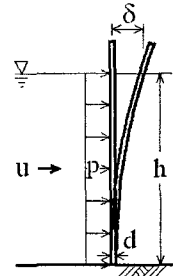


図-3 モデルと記号

表-1 樹幹部模型の検討例

	原型	模型 (1/50)	模型 (1/100)	模型 (1/200)
樹高 (m)	10	0.2	0.1	0.05
樹冠幅 (m)	3	0.06	0.03	0.015
胸高直径 (m)	0.2	0.004	0.002	0.001
浸水深 (m)	7	0.14	0.07	0.035
比重	0.62	1.13	1.13	1.13
弾性係数 (kgf/cm ²)	10×10^4	4×10^3	2×10^3	1×10^3
流速 (m/s)	5.8	0.82	0.58	0.41
抗力 (kgf/m)	343	0.137	0.034	0.0086
水平変位 (m)	1.31	0.026	0.013	0.0066

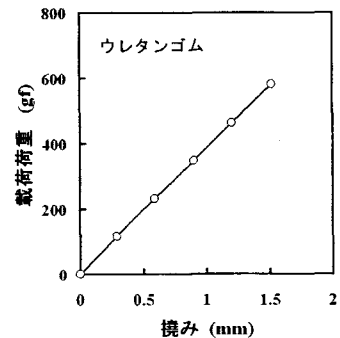


図-4 荷重と撓みの関係