

水路側岸に水没した植生群を有する開水路流れの一次元解析法 One - Dimensional Analysis for Open Channel Flow over Submerged Bank Vegetation

○ 安瀬地一作* 島田正志* 田中忠次*
○ AZECHI Issaku SHIMADA Masashi TANAKA Tadatsugu

1. はじめに

河川や農業用水路などに見られる多自然型水路では、水路側岸部にさまざまな植生群が繁茂している。これらの植生群は多種多様な動植物の生息環境を提供する一方、幅の狭い農業用水路などではわずかな植生群であっても流れに対して大きな抵抗となる。このような流れに対して、未だ実用的な一次元解析手法は確立されているとは言い難い。

植生群が存在する流れの研究では、植生が存在する領域と、植生が存在しない領域に分割するなどの領域分割を行い、各領域での支配方程式を立て、各領域間での干渉作用(境界混合)を考慮する方法が多く用いられている。しかし、本研究で対象とする水路片側、側岸部に植生群が水没しているような流れでは、Fig.1のように、水深方向に植生層と、植生層の上層の表面層、さらには、横断方向に植生の存在しない主流域との3つに領域分割することが考えられる。このように分割した場合、運動量方程式が、植生層・表面層・主流域の3つとなり、さらに、各領域間の境界混合を考える必要があり、これらを同時に満足させることは困難である。そこで本研究では、植生の影響を Manning 粗度係数で表現することで、植生抵抗を底面粗度に置き換えて考える。このようにすることで、領域を横断方向に植生域と主流域の2つの領域に分割して考えることができる。

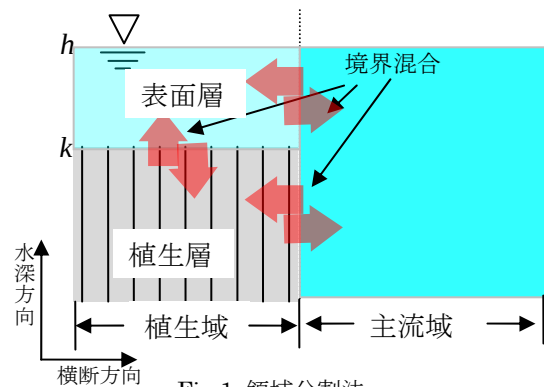


Fig.1 領域分割法
Division of the area

2. Manning粗度係数

水没した植生群が存在する流れの Manning 粗度係数は、その流れの流速分布(1)式、(2)式から導出する。流速分布を水深平均し、Manning 式を導入することにより、水没した植生群を有する流れの Manning 粗度係数 n_v が(3)式のように表される。

$$\text{植生層} \Rightarrow u(z) = \frac{u_*}{\alpha \ell_0} \exp \alpha(z-k) \quad \cdots(1) \quad \text{表面層} \Rightarrow u(z) = \frac{u_*}{\kappa} \ln \left(\frac{z}{k} \right) + \frac{u_*}{\alpha \ell_0} \quad \cdots(2)$$

$$n_v = \frac{R^{2/3} \sqrt{\left(\frac{\beta}{2} C_D \lambda k + C_f \right) / gh}}{\frac{\alpha^2 k^2}{1 - \exp(-\alpha k)} \left\{ \frac{1}{\alpha^2 k h} \{1 - \exp(-\alpha k)\} + \ln \left(\frac{h}{k} \right) - \frac{h-k}{h} \left(1 - \frac{1}{\alpha \kappa} \right) \right\}} \quad \cdots(3)$$

$\alpha = (\lambda C_D / 4 \kappa^2 k^2)^{1/3}$, u_* : 植生境界の摩擦速度, $\ell_0 = \kappa k$, h : 水深, R : 径深, C_D : 抗力係数, λ : 植生存在密度, κ : カルマン定数, k : 植生高さである。 β は運動量補正係数で、流速分布より、 $\beta = 1 - \exp(-2\alpha k) / \frac{2}{\alpha k} [1 - \exp(-\alpha k)]^2$ となる。

3. 基礎方程式

各領域での等流近似した運動量方程式を考えると、

$$\text{植生域} \Rightarrow gS_v \frac{n_v^2 u_v^2}{R_v^{1/3}} - hf(u_m - u_v)^2 = gA_v I_v \cdots (4) \quad \text{主流域} \Rightarrow gS_m \frac{n_m^2 u_m^2}{R_m^{1/3}} + hf(u_m - u_v)^2 = gA_m I_m \cdots (5)$$

となる．それぞれ左辺第一項は壁面摩擦項，第二項は境界混合項である．ここで u_v, u_m : それぞれ植生域，主流域の断面平均流速， n_v, n_m : 植生域，主流域の Manning 粗度係数， R_v, R_m : 植生域，主流域の径深， S_v, S_m : 植生域，主流域の壁面摩擦が作用する潤辺， f : 境界混合係数， g : 重力加速度， A_v, A_m : 植生域，主流域の流水断面積， I_v, I_m : 植生域，主流域のエネルギー勾配である．(4)，(5)式の各辺を足し合わせ，全断面平均エネルギー勾配を I_e とすると， $gA_v I_v + gA_m I_m = gA I_e$ より，

$$gS_v \frac{n_v^2 u_v^2}{R_v^{1/3}} + gS_m \frac{n_m^2 u_m^2}{R_m^{1/3}} = gA_v I_v + gA_m I_m = gA I_e \cdots (6)$$

A : 全断面積である．ここで， $C_v \equiv n_v^2 S_v / R_v^{1/3}$ ， $C_m \equiv n_m^2 S_m / R_m^{1/3}$ とすると，水路側岸部に水没した植生群を有する流れの全断面平均エネルギー勾配が(7)式のように求められる．

$$I_e = \frac{C_v u_v^2 + u_m^2 C_m}{A} \cdots (7)$$

(7)式中の植生域，主流域の断面平均流速 u_v, u_m は(4)式，(5)式を等流近似し，流速比 $r_0 \equiv u_v / u_m$ を導入した(8)，(9)式から求める．なお，等流の水量に添え字 0 を付加した．

$$\text{植生域} \Rightarrow \{gC_v r_0^2 - h_0 f(1 - r_0)^2\} u_m^2 = gA_v i_0 \cdots (8) \quad \text{主流域} \Rightarrow \{gC_m + h_0 f(1 - r_0)^2\} u_m^2 = gA_m i_0 \cdots (9)$$

(8)，(9)式より，等流の流速比 r_0 を求め，等流と不等流で $r = r_0$ と仮定すると，連続式より主流域断面平均流速 u_m は，

$$u_m = \frac{Q}{A_m + A_v r_0} \cdots (10)$$

となる． Q : 全断面流量である．また，植生域断面平均流速は，

$$u_v = u_m r_0 \cdots (11)$$

となる．以上により求められた全断面平均エネルギー勾配((7)式)から，逐次水面追跡法を用いて水面形追跡を行い，(10)，(11)式により各領域平均流速を求め，水力模型実験結果と比較することでモデルの妥当性を検証する．

4. 実験及び結果

実験は幅 30cm 全長 16m の可変勾配水路で行った．模擬植生として，変形しない剛なアルミ棒(直径 2mm)を用いた．模擬植生群は，穴 2.5mm，ピッチ 4mm のパンチング板を厚さ 5cm の発泡スチロールの上に貼り付けたものを水路に設置し，パンチング板の穴にアルミ棒を差し込むことで作成した．本実験では，測定区間は 8m で，高さ 10cm の模擬植生を水路左岸 15cm の幅で測定区間入り口から 1m 流下後の地点から下流端までの 7m に渡って設置した．Fig.2 は水面形の計算結果と実験結果である．○が実測値，・が計算値である．Fig.3 は測定区間入り口から 5m 流下後の横断流速分布の計算結果と実験結果である．○が実測値，実線が計算平均流速である．水面形，流速分布ともに本モデルは実測値を精度良く再現できている．よって，本モデルは水路片側に水没した植生群を有する流れの一次元解析手法として有効な解析手法である．

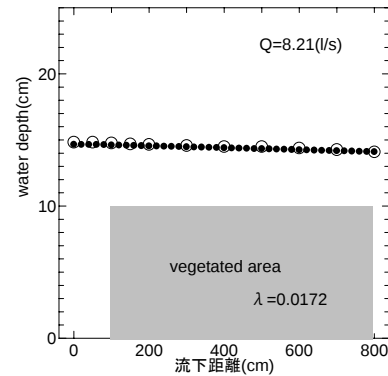


Fig.2 水面形
Water Depth

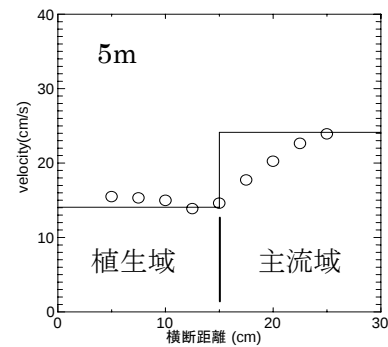


Fig.3 横断流速分布
Lateral velocity distribution