

流れによって変形する植生群を有する流れの解析 Analysis of Flow With Flexible Vegetation

安瀬地一作*, 木ノ瀬紘一**, 喜多祐介**, 山田裕子**

Azechi Issaku, Kinose Koichi, Kita Yusuke, Yamada Hiroko

1. はじめに

近年河川だけでなく、農業水利系においても親水を意識した水路形態が議論されている。そこでは、河床や河岸に粗石群を設けたり、植生を繁茂させたりといったことが考えられている。しかし、これは水理学的に見れば流れの抵抗を増大させたことになる。また、植生は洪水などで倒伏したり、季節によって成長したりする。それに伴って流れの抵抗も季節や場所によって様々に変化する。このような問題は治水・利水を考慮しつつ植生を保全していく上では重要な問題である。

2. 既往の研究と目的

植生群を有する流れについての研究は近年活発に行われているが、そのほとんどが、流れの乱流構造や植生の不安定性についてのもので、これらは流れの詳細な乱流構造を理解するためには有用であるが、実際の水理設計計算に用いるには計算が煩雑すぎて実用的ではない。また、現在行われている水理設計計算では、植生の影響をマンシングの粗度係数に置き換えて計算している。しかし、この場合のマンシングの粗度係数は経験的に与えられたもので、十分な検討はなされていない。本研究では、レイノルズ方程式からエネルギー勾配を推定し、それを従来から用いられている不等流、不定流計算法に適用し、また、植生の変形も含め、様々な流れの解析を行う。

3. 基礎方程式

基礎方程式は植生の影響を考慮に入れたレイノルズ方程式を境界層近似を行い、植生領域、表面領域に分けて(Fig.1 参照)水深方向に積分することによって求める。植生による影響は植生の抗力のみを考慮し、混合拡散については、領域境界での影響が卓越していると考えられるので、領域境界での運動量交換のみを考慮すると、植生領域表面領域の基礎方程式は結局次のようになる。

$$gh_1 I_{e1} = -f(\Delta u)^2 + f_w \frac{2h_1 u_1^2}{B} + f_b \frac{u_1^2}{2} + \frac{C_D I u_1^2 h_1}{2} \quad (1)$$

$$gh_2 I_{e2} = f(\Delta u)^2 + f_w \frac{2h_2 u_2^2}{B} \quad (2)$$

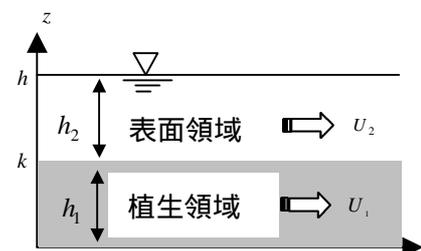


Fig.1 Sample of flow

ここで、 u_1, u_2 はそれぞれ植生領域、表面領域の平均流速、 I_{e1}, I_{e2} は植生領域、表面領域のエネルギー勾配、 f_w : 側壁の摩擦損失係数、 f_b : 底面の摩擦損失係数。

* 東京大学大学院農学生命科学研究科 Graduate School of Agricultural & Life Sciences, Tokyo University

** 茨城大学農学部 Faculty of Agriculture, Ibaraki University

キーワード: 植生を有する流れ, エネルギー勾配, 不等流, 不定流

(1),(2)式の右辺第一項は境界に働くせん断力、それぞれ第二項は側壁の摩擦力、(1)式第三項は底面せん断力、第四項は植生による抗力を表している。

(1),(2)式を足し合わせることによって、断面平均エネルギー勾配 I_e が次のように表せる。

$$I_e = \frac{C_1 u_1^2 + C_2 u_2^2}{gh} \quad (3)$$

ここに $C_1 \equiv \frac{f_w}{B} h_1 + \frac{f_b}{2} + \frac{C_D I h_1}{2}$ 、 $C_2 \equiv \frac{f_w}{B} h_2$

4. 植生の変形

植生の変形は片持ち梁の有限変形としてモデル化する。植生の変形は抗力による曲げモーメントのみが支配的とする。植生の抗力と曲げモーメントはそれぞれ次のようになる。

$$\text{抗力} \quad F_{vx} = \frac{1}{2} r C_d D^* U^{*2} \cos q \quad (4)$$

$$\text{モーメント} \quad M(z) = \int_z^k [F_{vx}(h)(h-z)] dh \quad (5)$$

ここで、 C_d :植生の抗力係数、 D :植生の径である。また、曲げモーメントと曲げ剛性 EI の間には次の関係が成り立つ。

$$\frac{M}{EI} = \frac{d^2 d(z)}{dz^2} \left\{ 1 + \left(\frac{dd(z)}{dz} \right)^2 \right\}^{\frac{3}{2}} \quad (6)$$

(4)~(6) 式を境界条件 $dd/dz = d = 0$ at $z=0$ のもと Runge-Kutta 法で解く。

5. 不等流、不定流解析

不等流計算には比エネルギーを指標にした逐次水面追跡法を、不定流計算は式形が簡単で比較的精度のよい 2step Lax-Wendroff 法を用いた。植生区間では、エネルギー勾配に(3)式を用いた。

6. 実測値と計算値との比較

Fig.3 に植生の変形も考慮に入れた不等流、Fig.4 に不定流の計算値と実測値との比較を示す。計算値は実測値をよく表現していると言える。よって、新たな抵抗則は有用であると言える。これを用いて植生の変形や密生度などの違い、流れの状態の相違によってどのように水深が変化するかをモデル計算によって検討する。

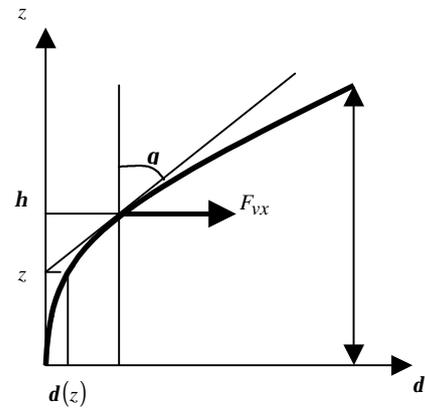


Fig.2 Sample of vegetation

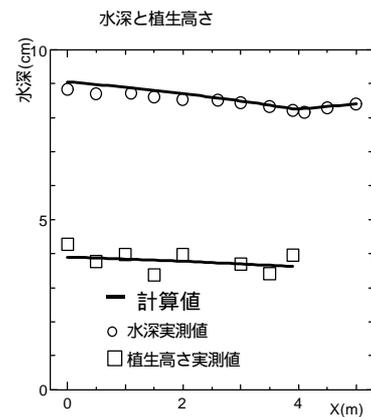


Fig.3 Result of calculation of non-uniform flow

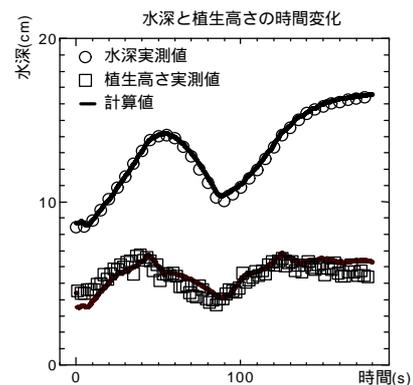


Fig.4 Result of calculation of unsteady flow