

水没した植生群を有する流れの抵抗則に関する研究 Study of the flow which has the submerged 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

植生を有する流れに関する研究は数多くなされている。特に近年ではコンピューターの計算速度の向上とともに、さまざまな乱流モデルを用いた数値シミュレーションによる流れの解析が数多くなされており、植生群落を有する流れの構造は次第に解明されつつある。また、植生群落を有する流れの抵抗則も数多く提案されている。しかし、これらの数値シミュレーション及び抵抗則モデルは計算手法が難解であったり、実測値からの同定が必要なパラメータが必要であったりとまだまだ現実の水理設計計算に用いられるほど簡便で正確な計算手法の開発には至っていない。そこで本研究では植生群落内外の流速分布より、新たにマンニングの粗度係数を導出しその有用性を検討する。

2.モデル

水路断面全域に水没した植生が存在する流れの流速分布は植生層では指数分布、表面層では対数分布としてそれぞれ次のように表される。

$$\text{植生層} \Rightarrow u(z) = \frac{u_*}{\alpha l_0} \exp \alpha(z-k) \quad \dots(1)$$

$$\text{表面層} \Rightarrow u(z) = \frac{u_*}{\kappa} \ln \left(\frac{z}{k} \right) + \frac{u_*}{\alpha l_0} \quad \dots(2)$$

$\alpha \equiv (\lambda C_D / 4 \kappa k)^{1/3}$ u_* = 植生境界の摩擦速度,
 $l_0 = \kappa k$, k = 植生高さ, λ = 植生存在密度
 C_D = 抵抗係数, κ = カルマン定数である。それぞれ(1)式は $0 < z \leq k$, (2)式は $k < z \leq h$ の範囲で積分すると各層の平均流速 u_1 , u_2 はそれぞれ次のようになる。

$$\text{植生層} \Rightarrow u_1 = \frac{u_*}{\alpha^2 \kappa l_0} (1 - \exp(-\alpha k)) \quad \dots(3)$$

$$\text{表面層} \Rightarrow u_2 = \frac{u_*}{\kappa} \left[\frac{h}{h-k} \ln \left(\frac{h}{k} \right) - 1 \right] + \frac{u_*}{\alpha l_0} \quad \dots(4)$$

この二式から水深平均流速は次のようになる。

$$u = \frac{u_*}{\kappa} \left[\ln \left(\frac{h}{k} \right) - \frac{h-k}{h} + \frac{h-k}{\alpha k h} + \frac{1}{\alpha k h} (1 - \exp(-\alpha k)) \right] \quad \dots(5)$$

(5)式にマンニング式を導入すると、水没した植生群を有する流れのマンニングの粗度係数 n_v が次のように求まる。

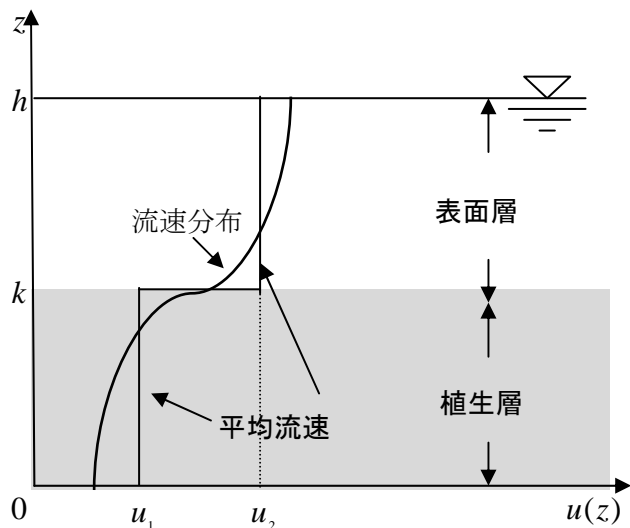


Fig.1 概略図
Schematic figure

$$n_v = \frac{R^{2/3} I_e^{1/2}}{\frac{u_*}{\kappa} \left[\ln \frac{h}{k} - \frac{h-k}{h} + \frac{h-k}{\alpha k h} + \frac{1}{\alpha^2 k h} (1 - \exp(-\alpha k)) \right]} \quad \dots(6)$$

R = 径深, I_e = エネルギー勾配. ここで, 植生層内では植生の抗力による力が卓越していると考えられるので, 流下方向の力の釣り合いは次のようにおける.

$$gkI_e = \frac{C_D \lambda k}{2} u_*^2 \quad \dots(7)$$

(3)式と(7)式より植生境界における摩擦速度 u_* が決定される.

$$u_* = \alpha_1 \sqrt{\frac{2g}{C_D \lambda} \frac{\alpha^2 \kappa k^2}{1 - \exp(-\alpha k)} I_e^{1/2}} \quad \dots(8)$$

α_1 = 植生を有する流れのエネルギー補正係数. g = 重力加速度. (6)式, (8)式より水没した植生群を有する流れのマニングの粗度係数が水深 h , 植生高さ k , 植生存在密度 λ より求められる.

3. 実験及び結果

実験は幅 30cm 全長 16m の循環型直線可変勾配水路で行った. 模擬植生には変形による抵抗の増加は少ないと考え変形しない剛なアルミ棒(直径 2mm)を用いた. 実験植生水路は, 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, 水路全域にわたって設置し, パンチング板の穴にアルミの棒を差し込むことで作成した. 実験はさまざまな植生条件, 水理条件で行った. Fig.2 は流下方向に植生高さを急変させた条件, Fig.3 は流下方向に植生存在密度を急変させた条件の結果である. ○が実測値, ・が計算値である. どちらの条件においても計算値は実測値を良好に表せている.

4. まとめ

(6)式及び(8)式を用いることで水没した植生群を有する流れの抵抗を簡便に評価できるようになった. 河川や用水路では無数に存在し, 季節によって変化する植生群落の存在密度及び植生高さを正確に測定することは不可能に近く, その抵抗を見積もる事も困難である. しかし, (6)式により抵抗の目安となるマニング粗度係数を植生高さ と存在密度の関数として表現することによって, 任意の植生条件に対するその抵抗を見積もることが可能となった.

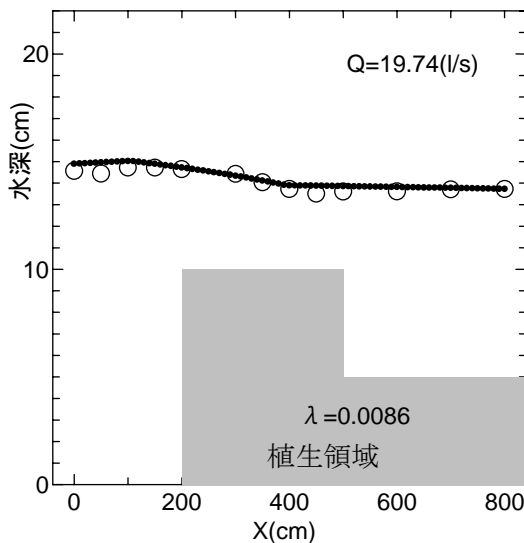


Fig.2 実験結果
Experiment result

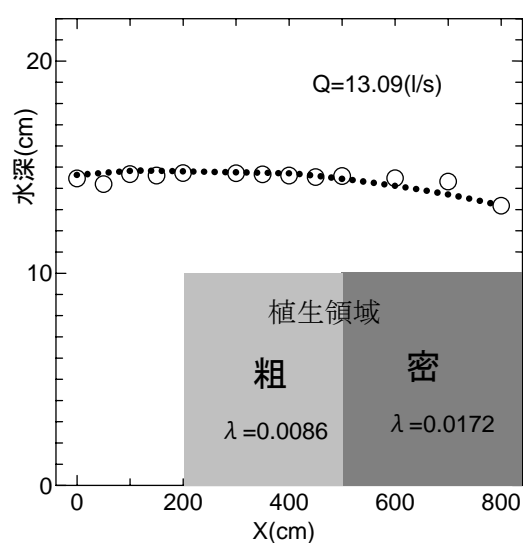


Fig.3 実験結果
Experiment result