

両岸に沿岸植生が繁茂する場合の波の変形特性

鹿児島大学大学院 学生会員 松元 涼子  
 鹿児島大学工学部 正会員 浅野 敏之

1.はじめに

近年、沿岸域植生は人々に憩いの場を提供し、生態保全の場として注目されている。しかし、植生が繁茂する場合の波の変形特性は十分には解明されていない。本研究では両岸に植生が繁茂した場合の波の減衰特性を記述する理論解を展開した。数値解と比較検討を行い、実用に供しうる簡便な記述式の確立を目指した。

2.数値解析

図-1に示すように、水深が一定の場合の直線水路で、両岸  $y=0 \sim B$  の範囲で植生が繁茂する水路で数値計算を行うものとする。数値解では、線形長波理論に基づき支配方程式を次式で与えた。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} = fN - gD \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{D}{\rho} \frac{\partial p_0}{\partial y} + \frac{1}{\rho} (\tau_{xy} - \tau_{by}) + A_h \left[ \frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} \right] \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} = fM - gD \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{D}{\rho} \frac{\partial p_0}{\partial x} + \frac{1}{\rho} (\tau_{xy} - \tau_{bx}) + A_h \left[ \frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} \right] \quad (3)$$

計算条件は、河幅  $B=80\text{m}$ 、河川長  $x=160\text{m}$ 、周期  $T=10\text{s}$ 、水深  $h=1\text{m}$  とした。格子寸法は  $\Delta x = \Delta y = 1\text{m}$  とし、運動量拡散係数  $A_h = 0.05 \Delta x^{4/3}$  とし数値解を計算した。図-2は、水路横断方向の波高分布である。水路中央では、波のエネルギーが集中して、最初、波高が増大するが河川を遡るにつれ減衰する。図-3は、植生の抗力係数を変化させた場合の波高減衰曲線である。抗力係数を大きくすると、波の減衰が増大する。図-4は、運動量拡散係数を変化させた場合の結果である。植生帯では、水路中央部分との運動量交換により河川を遡るにつれて河川長  $x=60\text{m}$  付近から増加していく。河川を遡ると、波のエネルギーが水路中央から植生繁茂域へと拡散されるのが分かる。

3.理論解

理論解としては、波を線形長波として扱う。基礎方程式を次式で表す。

$$\frac{\partial u_1}{\partial x} = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{f_{b1}}{2h} u_1 |u_1| - \frac{f_m}{h} (u_1 - u_2) |u_1 - u_2| \quad (4)$$

$$\frac{\partial u_2}{\partial x} = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{f_{b2}}{2h} u_2 |u_2| + \frac{f_m}{h} (u_1 - u_2) |u_1 - u_2| - \frac{C_D}{2} N d_0 |u_2| \quad (5)$$

ここで、 $C_D$ は植生の抗力係数、 $d_0$ は植生の径、 $f_b$ は底面摩擦係数、 $f_m$ は水路横断方向運動量交換係数、

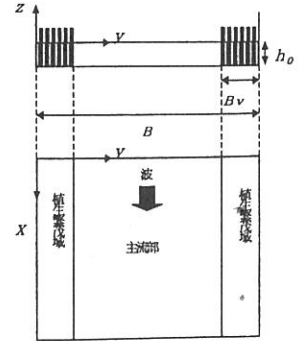


図-1 座標系

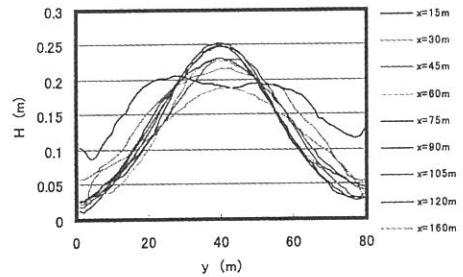


図-2 水路横断方向の波高分布

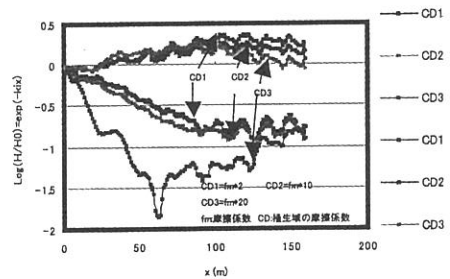


図-3 植生の抗力係数の波高減衰効果

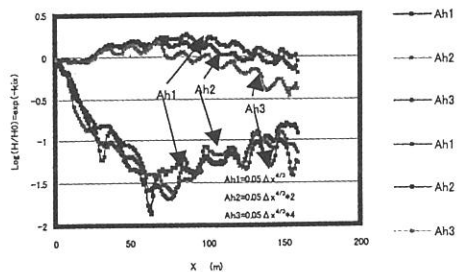


図-4 運動量拡散係数の波高減衰効果

$u_1, u_2$  をそれぞれ水路中央での流速、植生繁茂域での流速とする。線形化するために流速の 2 乗に比例する項を準線形化する。底面摩擦における項と植生の抗力の項については次式に示す。

$$\frac{f_{b,i}}{2h} u_i |u_i| = \frac{4}{3\pi} \frac{f_{b,i}}{h} \hat{u}_i u_i = B_i u_i \quad (i=1,2) \quad (6)$$

$$\frac{1}{2} C_D d_0 N u_2 |u_2| = \frac{4}{3\pi} C_D d_0 N \hat{u}_2 u_2 = D u_2 \quad (7)$$

また、植生繁茂域前面でのせん断応力は

$$\frac{f_m}{h} u_r |u_r| = M_i u_i \quad (i=1,2) \quad (8)$$

とする ( $u_r = u_1 - u_2$ )。両辺の 2 乗誤差  $\bar{E}^2_r$  を最小にする条件  $\partial \bar{E}^2_r / \partial M_i = 0$  より、係数  $M_i$  を求め、正弦波形変動を仮定すると

$$M_i = \frac{8}{3\pi} \frac{f_m}{h} \frac{\hat{u}_r^2}{\hat{u}_i} \quad (i=1,2) \quad (9)$$

となる。

以上より、(4)、(5)式は次式に変形される。

$$\frac{\partial u_1}{\partial t} = -g \frac{\partial \eta_1}{\partial x} - E_1 u_1, \quad (E_1 = B_1 + M_1) \quad (10)$$

$$\frac{\partial u_2}{\partial t} = -g \frac{\partial \eta_2}{\partial x} - E_2 u_2, \quad (E_2 = B_2 - M_2 + D) \quad (11)$$

(10)、(11) と連続式

$$\frac{\partial \eta_i}{\partial t} = -h \frac{\partial u_i}{\partial x} \quad (i=1,2) \quad (12)$$

から、 $E_i$  の  $x$  方向変化が無視できるとすると仮定すると、

最終的に次式が得られる。

$$\frac{\partial^2 \eta_i}{\partial t^2} + E_i \frac{\partial \eta_i}{\partial t} = gh \frac{\partial^2 \eta_i}{\partial x^2} \quad (i=1,2) \quad (13)$$

水位変動  $\eta_i$  を  $\eta_i = A_0 \exp(-k_i x) \cos(k_i x - \sigma t)$  (14) の正弦波で与える。 $A_0$  は入射波の振幅、 $\sigma$  は周波数である。

(14) を (13) に代入すると、

$$k_{r,i} = \frac{\sigma}{\sqrt{2gh}} \left[ \sqrt{1 + \left(\frac{E_i}{\sigma}\right)^2} + 1 \right]^{1/2} \approx \frac{\sigma}{\sqrt{gh}} \left[ 1 + \frac{1}{8} \left(\frac{E_i}{\sigma}\right)^2 \right] \quad (15)$$

$$k_{i,i} = \frac{\sigma}{\sqrt{2gh}} \left[ \sqrt{1 + \left(\frac{E_i}{\sigma}\right)^2} - 1 \right]^{1/2} \approx \frac{\sigma}{\sqrt{gh}} \left(\frac{E_i}{\sigma}\right) \quad (16)$$

となり、波高減衰の特性を知る重要なパラメーターである波数を式で表すことができた。

この式を用い、数値計算を行う。基本的な計算条件は、水深  $h=2\text{m}$ 、潮汐波の振幅  $A_0=40\text{cm}$ 、植生の抗力係数  $c_D=2.0$ 、植生径  $d_0=2\text{cm}$ 、摩擦係数  $f_{b,1}=f_{b,2}=0.01$ 、運動量交換係数  $f_m=0.02$  である。理論解のデータを図-5、図-6 に示す。図-5 より抗力係数  $c_D$  が大きくなると、植生帯内で波高減衰が増大する。また、図-6 より、運動量交換係数を大きくすると、水路中央部分と植生域での海水交換が盛んになりエネルギー交換が増大するため波高減衰曲線が接近する。

#### 4. 結果

理論解を展開し、その妥当性を検討したところ、植生の抗力係数や、運動量交換係数が波高減衰に及ぼす影響を明らかにすることができた。また数値解との比較により、理論解の波の減衰特性と一致する部分とやや一致しない部分があることを明確にすることができた。今回、一樣水深である水路で数値計算を行ったが、勾配の変化する場合での比較や、植生抵抗の表示精度を高めること等が今後の課題である。

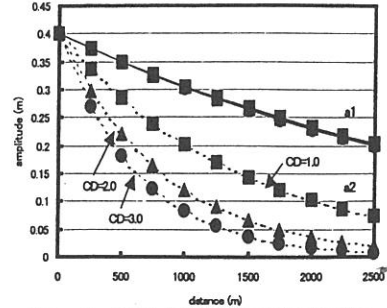


図-5 抗力係数の波高減衰効果

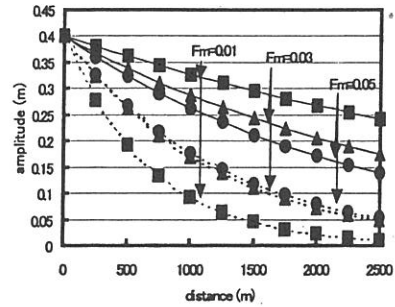


図-6 運動量交換係数の波高減衰効果