

人工海藻の敷設が流れや漂砂に及ぼす影響

愛媛大学工学部 正員 伊福 誠
愛媛大学大学院 学生員 岩田 充浩

1. はじめに

近年、波浪・漂砂制御は言うまでもなく生態系に与える影響をも極力抑えるシステムとして、人工海藻を用いた柔な構造物が提案され、さまざまな研究が行われている。本研究では、まず、水平床に人工海藻を敷設した場合の流れ、底面からの砂粒子の pick-up や地形変化に関する水平・鉛直 2 次元の数値モデルを構築する。次に、小田ら (1991) が波浪・漂砂制御機構の解明を目的とした室内実験の結果に基づいた解析を行い、人工海藻周辺の流れ場や流体中に浮遊する底質の濃度について調べ、実用化に向けての基礎的資料を得ようとしたものである。

2. 数値計算

2.1 基礎方程式

静水面を x 軸にとり、 x 軸より鉛直方向に z 軸をとると、連続の式は

$$u_x + w_z = 0 \quad (1)$$

と表せる。ここに、 u , w は x , z 方向の速度成分である。

人工海藻に作用する抗力および慣性力を考慮すると、LES (large eddy simulation) 方程式は

$$u_t + uu_x + ww_z = -(1/\rho)p_x + A_x + F_{Dx} + F_{Ix} \quad (2)$$

$$w_t + uw_x + ww_z = -g - (1/\rho)p_z + A_z + F_{Dz} + F_{Iz} \quad (3)$$

と表せる。ここに、 F_{Dx} , F_{Dz} は抗力、 F_{Ix} , F_{Iz} は慣性力である。 A_x , A_z は

$$A_x = (1/\rho)((\tau_{xx})_x + (\tau_{zx})_z) - (2/3)((G_{xx})_x + (G_{zx})_z) \quad (4)$$

$$A_z = (1/\rho)((\tau_{xz})_x + (\tau_{zz})_z) - (2/3)((G_{xz})_x + (G_{zz})_z) \quad (5)$$

と表せる。ここに、 τ はせん断応力、 G は微細渦の乱流エネルギーである。

(2), (3) をそれぞれ x , z で微分して整理すると、以下のようなポアソン方程式

$$(p_{xx} + p_{zz})/\rho = -2(w_x u_z - u_x w_z) + (A_x)_x + (A_z)_z \quad (6)$$

を得る。なお、添字の x , z および t は場所と時間に関する微分を意味する。

人工海藻を敷設した場合の拡散方程式は

$$\lambda_s C_t + u C_x + w C_z = \lambda_s ((K_{xx} C_x)_x + (K_{zz} C_z)_z) + w_0 C_z \quad (7)$$

と表せる。ここに、 λ_s は人工海藻の空隙率、 w_0 は底質の沈降速度、 K_{xx} , K_{zz} は乱流拡散係数であり速度成分に依存すると仮定する。

2.2 漂砂の連続式

$$(Z_B)_t + (1/(1-\lambda_B))(q_x - \varepsilon|(q_x)_x|)_x = 0 \quad (8)$$

ここに、 z_B は基準水準面からの高さ、 λ_B は底面の空隙率 ($\lambda_B=0.5$)、 q_x は x 方向の漂砂量、 ε は係数であり 10 とする。

3. 解析結果

3.1 水平方向流速の鉛直分布

図 1 は境界層外縁における x 方向の速度成分を微小振幅波理論で算出した場合の境界層内における流速分布を示したものであり、図中の実線は計算値、■, ○, ▲, ◆ および ● は、実験値である。計算値および実験値の位相は、波の峰が通過する位相を 0 とする。 x 方向の測定点は人工海藻を敷設した領域の中央位置における人工海藻の岸側 2 cm の所である。なお、実験および計算とも底面に 1 cm の高さの基部が存在する場合を対象とした。流体が加速される領域において実験値と計算値の差はあるものの、 π の位相においては定性的・定量的に一致する。また、人工海藻上端付近において流体が加速されているのが分かる。

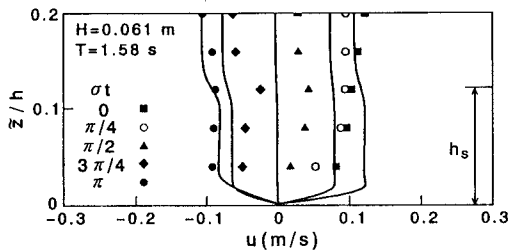


図 1 流速の鉛直分布

3.2 平均流速ベクトル

図 2 は平均流速ベクトルである。 $\bar{z}/h=0 \sim 0.2$ のすべての範囲で平均流速が岸向きになる。と

くに、下層および人工海藻付近の平均流速が大きい。すなわち下層では砂が岸側に運ばれ、また、上層では浮遊した砂が岸側に運ばれることから、漂砂制御に対しては人工海藻の敷設は有効なのではないかと考える。

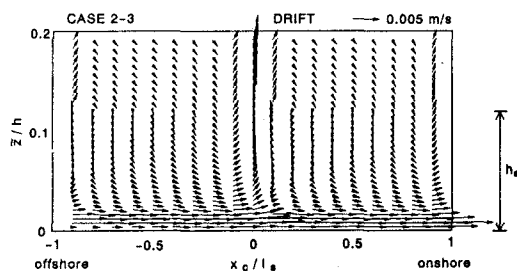


図2 平均流速ベクトル

3.3 濃度分布

図3は人工海藻敷設位置周辺の濃度分布である。なお、図中の横軸の x_c/l_s の0点は人工海藻敷設領域の中央位置である。また、上方境界における最大流速に対する相対的な流速を矢印で示している。(a)をみると、 $\bar{z}/h=0.02$ 付近の $x_c/l_s = -0.5 \sim 1$ の範囲に 10^{-1} の等濃度線が舌状に伸びている。これは、砂の pick-up によるものではなく移流・拡散によるものである。(b)をみると、 10^{-1} の等濃度の領域の面積は (a) と比較して減少する。

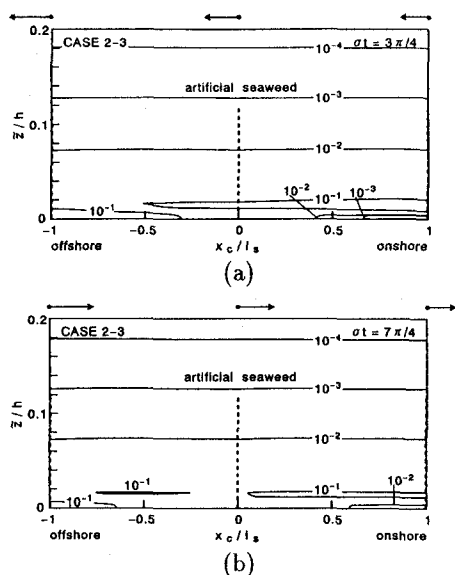


図3 濃度分布

3.4 濃度の経時変化

図4は濃度の経時変化であり、人工海藻の敷設位置の岸側2 cmにおけるものである。また、図中の実線および破線は、それぞれ底面から0.004および0.008 mの高さにおけるものである。なお、人工海藻敷設領域の中央位置 $x_c/l_s = 0$ を波の峰が通過する時の位相を0とする。 $\bar{z}/h=0.008$ の濃度波形は、流速が最大となる $t/T=0, 0.5$ より遅れて第1、第2ピークが生じ、それぞれのピークより $\pi/2$ rad 程度ずれて小さなコブ状のピークが生じるが、この位相では流速がほぼ0であり底面からの砂の pick-up はないことから、移流・拡散によるものであると考える。また、 $\bar{z}/h=0.016$ の濃度波形は、前者と比べて平坦となる。

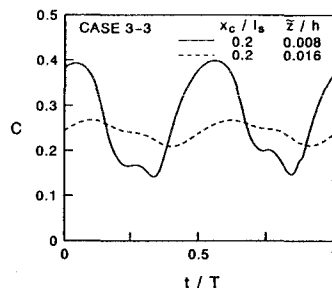


図4 濃度の経時変化

3.5 地形変化

図5は、計算して得た人工海藻間の地形変化を示したものであり、40周期目の結果である。 z 軸は地形の変化量を $x_c/l_s = -1 \sim 1$ の最大量 z_{Bmax} で無次元化している。人工海藻の敷設位置では砂が堆積しているが、その沖側および岸側においては局所洗掘が生じている。人工海藻敷設位置付近においては実験で得られた地形変化を定性的に再現し得たものの、人工海藻間の中央付近における砂の堆積については再現できなかった。

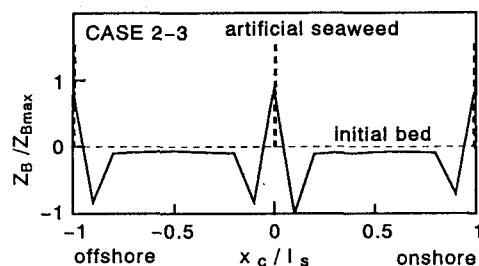


図5 地形変化