

II-292

非平衡状態の浮遊砂濃度の数値計算

大阪大学工学部 正会員 榎木 亨

大阪大学工学部 正会員 出口 一郎

大阪大学工学部 正会員○小野正順

1. まえがき

現地海岸において生ずる漂砂移動は、地形あるいは波・流れの空間的な非一様性、非定常性等によって必ずしも平衡状態を仮定できる状態ではない。海岸構造物等を配置することによって定常性が断ち切られた場合の構造物周辺でも非平衡状態の漂砂移動が出現する可能性がある。本研究は、特に浮遊状態での漂砂移動を取り上げ、波・流れ共存場において仮想的な2つの浮遊砂濃度分布の非平衡状態を考え、非定常移流拡散方程式に基づく浮遊砂濃度分布の数値計算を行うことにより鉛直方向浮遊砂濃度分布が、定常になるまでの時間と流下距離及び浮遊砂量フラックスの空間分布などについて検討を加えたものである。

2. 非定常、非平衡状態の浮遊砂濃度分布の算定法

簡単のためx-zの鉛直面内の2次元座標で考える。x方向及びz方向の拡散係数を E_x, E_z とし、沈降速度を w_f 、水平移流速度を u_s としたときの浮遊砂濃度 $C(x, z, t)$ の2次元移流拡散方程式は、次のように表される。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u_s \frac{\partial C}{\partial x} - w_f \frac{\partial C}{\partial z} = E_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + E_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \quad (1)$$

(1)式を数値的に解く方法については、種々研究が行われている。ここでは、小松らによる6-point methodを用い、Sprit operator approachにより計算を行った。このとき基準点濃度 $C_0, u_s(z), E_x, E_z$ を与える必要がある。一般に C_0 は、波流れ共存場の底部せん断力あるいは摩擦速度 u_{cw} の関数として与えられ、 E_z も流れに対する渦動粘性係数と等しいと仮定すると、それも u_{cw} の関数として与えられる。 u_{cw} は、波・流れ共存場の底部境界層の渦動粘性係数に対して2層モデルを仮定することによって求められる、波及び流れの流速分布の厳密解に基づく底部せん断力の振幅から決定した。このとき $E_z = \kappa \times u_{cw} \times \delta w$ として与えられる。ここに κ は、カルマン定数(0.4)、 δw は、境界層厚で混合距離 $l (= \kappa \times u_{cw} / \sigma : \sigma = 2\pi/T)$ の4倍で定義した。 C_0 は、浮遊砂濃度分布の室内実験結果に基づいて定式化された次式を用いた。

$$C_0 = 0.347 \times \left[0.688 \times a_m^2 / \left\{ 1.13 \times \left(\frac{\sigma}{T} - 1 \right) \times g \times w_f \times T \right\} \right]^{1.77} \quad (2)$$

ここで、 a_m は、境界層外縁の波による水粒子軌道振幅である。

一方、 E_x としては、Murryの実験結果を参考にして次の様な表現を用いた。

$$E_x = \kappa \times u_{cw} \times \delta w \quad (3)$$

ここに、 u_{cw} は、流れのみによる摩擦速度である。また、沈降速度 w_f についてはRubeyの式を用いた。

3. 計算条件

波・流れ共存場で一様水深での流れ場に対して、図-1に示すような(Case1)水底が固定床から移動床に変化する場合及び、(Case2)水底が移動床から固定床に変化する場合のそれぞれの状況を仮定する。まず、Case1の場合、砂は、時刻 $t=0$ から移動床の部分より巻き上がり始め、時間が十分に経過した後、浮遊砂濃度分布が定常状態となるまでに要する時間を浮遊砂濃度のなじみ時間 T_s として定義する。また、浮遊砂濃度の鉛直分布が空間的に一様となるまでの領域は、非平衡状態(拡散量>沈降量)の濃度分布となっている。平衡状態の濃度分布となるためには、ある程度の

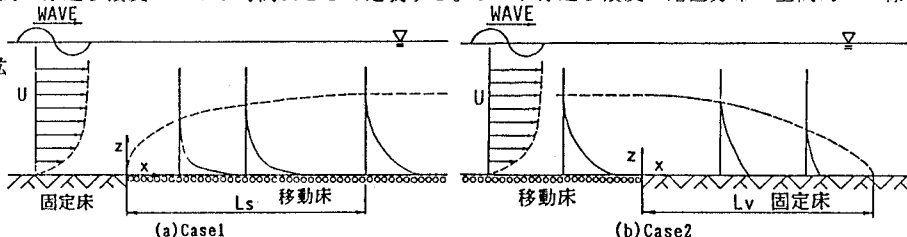


図-1 浮遊砂濃度分布の非平衡状態

距離が必要であり、その距離をなじみ距離 L_s と定義する。また、Case2の場合、移動床上で平衡状態にあった濃度分布が、固定床上に移流されると、水底からの砂の供給がなくなるため、非平衡状態（拡散量<沈降量）の濃度分布を生ずる。この固定床上の非平衡状態の濃度分布は、浮遊砂がすべて沈降するまで流下する。その距離を消滅距離 L_v と定義する。このような状態を数値計算により再現した。計算条件は、波に対して周期 $T=6.3\text{sec}$ 、境界層外縁の波による水粒子軌道振幅 $a_m=u_{wb}/\sigma=1.2\text{m}$ 、水深 h を 1.5m とし、砂の粒径 $d_{50}=0.075, 0.05, 0.025\text{cm}$ （各々沈降速度 $w_f=8.23, 6.24, 3.32\text{cm/sec}$ ）の3種類、 $U/u_{wb}=0.25, 0.5, 0.75, 1.0$ の4種類に変化させて各ケースについて検討を行った。

4. 非平衡状態の浮遊砂濃度分布の特性

4.1 浮遊砂濃度分布のなじみ時間となじみ距離

距離：Case1の状況について浮遊砂濃度分布のなじみ時間となじみ距離について検討を行った。図-2は、横軸に U/u_{wb} をとり d_{50} を変化させたときのなじみ時間 T_s の変化を示す。図より、粒径が小さく、断面平均流速が大きくなるに従って T_s が大きくなることわかる。これは、粒径が小さくなると w_f が小さくなり、さらに断面平均流速が大きくなるに従って E_z が大きくなるため定常状態に落ち着くまで時間を必要とするものと考えられる。また、 U/u_{wb} の変化に対して、 T_s は粒径が大きくなるに従ってほぼ一定値を示す。次に図-3は、横軸に U/u_{wb} をとり、 d_{50} を変化させた場合のなじみ距離 L_s の変化を示す。上述したことと同様な理由で、平衡状態に達するまでの距離は粒径が小さくなるに従って大きくなる。また、各ケースに対して U/u_{wb} と L_s/a_m は、ほぼ比例関係を示すが U/u_{wb} の増に伴う E_z の増加により、 L_s/a_m と U/u_{wb} は、単純な比例関係にはならない。

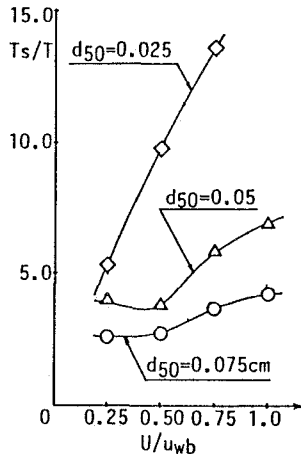


図-2 断面平均流速を変化させた場合のなじみ時間 T_s の変化

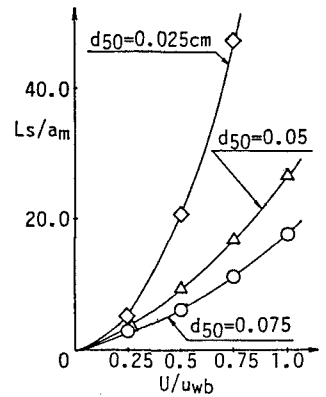


図-3 断面平均流速を変化させた場合のなじみ距離 L_s の変化

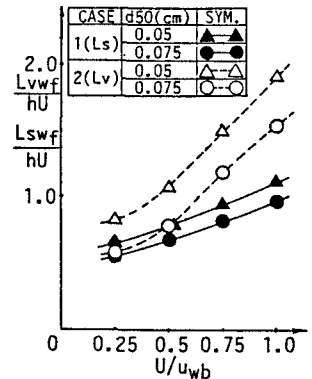


図-4 消滅距離 L_v となじみ距離 L_s の比較

4.2 浮遊砂濃度の消滅距離と浮遊砂量フラックスの減衰特性

Case2の状況について浮遊砂濃度分布の消滅距離と浮遊砂量フラックスの減衰特性について検討を行う。図-4は、横軸に U/u_{wb} をとり d_{50} を変化させたときの消滅距離 L_v の変化を示す。図中には比較のためなじみ距離 L_s も併せ示している。 L_v は、 L_s とほぼ同様な変動傾向を示すが、定量的にみると L_v は L_s よりも大きい。この理由は、前者では水底全体が浮遊砂のSourceになっているに対し、後者のSourceは、上流側にしかないためである。図-5は、 $d_{50}=0.05\text{cm}$ の場合について定常状態での浮遊砂量フラックスの場所的変化を示したものである。縦軸は、流下距離 x での浮遊砂量フラックス q_x を平衡状態の浮遊砂量フラックス q_0 で無次元化して示している。図より断面平均流速の増加に伴って浮遊砂量フラックスの場所的減衰が小さいことがわかる。これは、断面平均流速の増加に伴う E_z の増加によるためである。

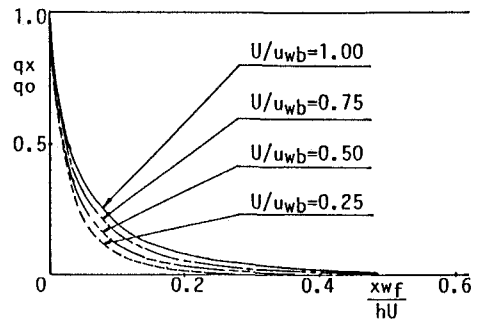


図-5 浮遊砂量フラックスの空間分布 ($d_{50}=0.05\text{cm}$)

5. あとがき

以上、非平衡状態の浮遊砂濃度分布の特性について数値的に検討を行った。今後これらの現象について実験によりさらに詳細な検討を加えていくつもりである。