

漂砂濃度分布のなじみ時間について

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

河口流出土砂、海中投棄された土砂の広がりや堆積、航路・港湾の埋没など浮遊漂砂が重要な役割を果たすと考えられる現象を解析する場合、従来平衡状態の浮遊砂濃度鉛直分布を仮定して浮遊砂量fluxを推定されることが多い。しかし流況あるいは海底地形条件によれば必ずしも平衡状態の浮遊砂濃度分布が仮定できるような状況ばかりではない。本研究は、波・流れ共存場における仮想的な浮遊砂濃度分布の非平衡状態を考え、浮遊砂濃度分布に対する非定常解析を行うことにより、濃度分布が定常になるまでに要する時間(なじみ時間)及び濃度分布が平衡状態に達するまでに必要となる距離(なじみ距離)について検討を行っている。

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 、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。

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

(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。

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

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、水底が固定床から移動床に変化する図-1に示すような状況を仮定する。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。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

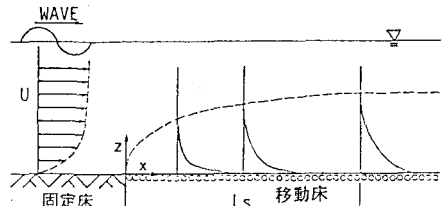


図-1 浮遊砂濃度分布の非平衡状態

Toru SAWARAGI, Ichiro DEGUCHI, Masanobu ONO

水粒子軌道振幅 $a_m=U_{wb}/\sigma=1.2m$ 、水深 h を $1.5m$ とし、砂の粒径 $d_{50}=0.075, 0.05, 0.025cm$ （各々沈降速度 $w_f=8.23, 6.24, 3.32cm/sec$ ）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。各ケースで計算に用いた諸量を表-1に示す。

表-1 各ケースで計算に用いた諸量

U/U_{wb}	$d_{50}=0.075$		$d_{50}=0.05$		$d_{50}=0.025$	
	ucw*	Ez	ucw*	Ez	ucw*	Ez
0.25	9.21	34.66	9.80	30.73	8.88	25.16
0.50	11.50	42.25	10.85	37.64	9.89	31.27
0.75	12.71	51.71	12.02	46.23	10.98	38.63
1.00	13.95	62.22	13.21	55.79	12.10	46.81

4. 浮遊砂濃度分布のなじみ時間となじみ距離

4.1 非定常非平衡状態の浮遊砂濃度の経時変化:

図-2(a)~(c)は、1例として $U/U_{wb}=0.5, d_{50}=0.05cm$ の場合の浮遊砂濃度分布の経時変化をコンターで示したものである。まず、図(a), (b)は、移流距離が十分でない(移流距離<なじみ距離)ため、移動床上の全領域で非平衡状態(拡散量>沈降量)で、かつ非定常な濃度分布となっている。図(c)は、時間的に定常状態に達した濃度分布であり、空間的に平衡状態の濃度分布は、十分な流下距離($x/a_m > 2.5$)の後に初めて出現することがわかる。

4.2なじみ時間: 図-3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、 $d_{50}=0.025cm$ の場合、他のケースと比較する

ると2倍以上の T_s となっており、また U/U_{wb} の影響

を強く受けていることがわかる。これは、 w_f が小さいため定常状態に落ち着くまで時間が必要であり、さらに w_f/Ez が小さく、浮遊砂濃度分布が鉛直方向に大きく広がるため流速の鉛直分布の影響をより大きく受けるものと考えられる。また、 U/U_{wb} の変化に対して、 T_s は緩やかに変化し、粒径が大きくなるに従ってほぼ一定値を示すようになることがわかる。

4.3なじみ距離: 図-4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。図より、 $d_{50}=0.025cm$ の場合、上述したことで同様の理由で平衡状態に達するまでの距離は他のケースと比較して2倍以上必要とすることがわかる。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} の増加に伴う Ez の増加により、

浮遊砂濃度分布の鉛直方向の広がりが大きくなる。(より高い位置まで浮上させられる)ため沈降時間がより長くなり、従って L_s/a_m と U/U_{wb} は、単純な比例関係にはならない。

5. あとがき

以上の考察より、浮遊砂濃度分布のなじみ時間及びなじみ距離は、砂の粒径が減少するにつれて飛躍的に増大することがわかった。今後、これらの現象に対し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。

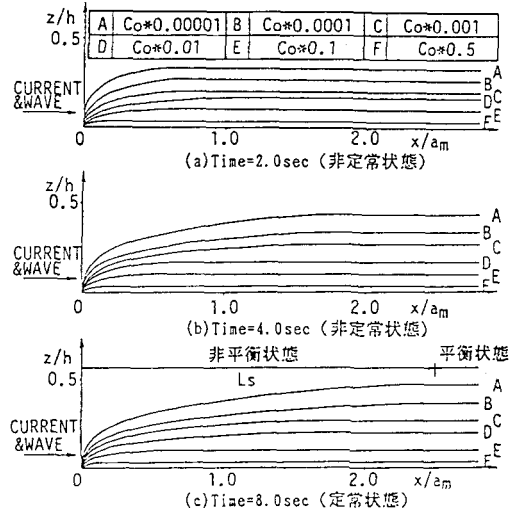


図-2 浮遊砂濃度の空間分布の経時変化($d_{50}=0.05cm, U/U_{wb}=0.50$)

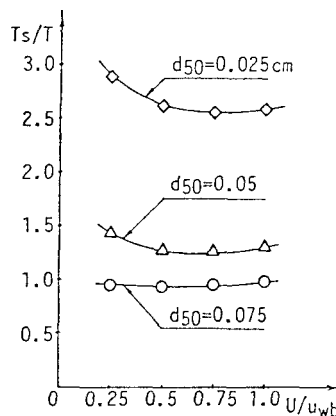


図-3 断面平均流速を変化させた場合のなじみ時間の変化

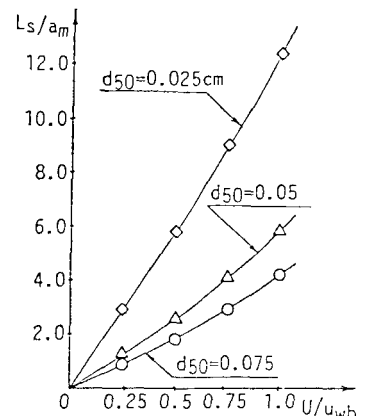


図-4 断面平均流速を変化させた場合のなじみ距離の変化