

混合砂床上の浮遊砂濃度分布と漂砂量

愛媛大学工学部

正 員○伊福 誠

愛 媛 県

正 員 住井勝彦

(株) 荒谷建設コンサルタント

森本茂雄

1. はじめに

波動場における漂砂量の算定式は数多く提案されているが、そのほとんどは球状均一砂粒子に対して確立する手法を用いている。しかしながら、混合砂を対象として漂砂量を算出する場合には各粒径ごとの運動特性を把握する事が重要になる。Egiazaroff (1965) は砂粒子の粒径によって限界掃流力が異なることに着目し、粒径別限界掃流力を評価する方法を提案している。田中ら (1988) は粒径別移動限界および粒径別漂砂量について実験的検討を行い、実用的な算定式を得ている。このように、混合砂を対象とした実験が幾例かなされ、砂粒子の運動特性が解明されつつある。本研究では、底質を構成する砂粒子の粒径や占有率が浮遊砂濃度や漂砂量に及ぼす影響について検討する。

2. 各階級の粒径および占有率

著者の一人は、1983～1984年にかけて松山市の梅津寺海岸において波浪・流速および浮遊砂濃度の観測を実施した。測定機器の設置点付近の底質の中央粒径および平均粒径は、それぞれ0.18 mm および 0.20 mm である。6種類のふるいによって粒度分布を調べたが、ふるいのサイズの0.105mm以下、0.105～0.25 mm、0.25～0.42 mm および 0.42 mm 以上の粒径の4つの階級を考えた。4つの階級の代表粒径は、それぞれふるいサイズの0.074 mm と 0.105 mm、0.105 mm と 0.25 mm、0.25 mm と 0.42 mm、0.42 mm と 0.84 mm の平均値とした。表1に各階級の粒径と占有率を示す。本研究では占有率が最大であるが粒径0.18 mm の砂粒子のみで底面が構成される均一砂を対象とした解析も行い、混合砂との比較検討を行う。

表1 各階級の粒径および占有率

	grade	d (mm)	ib(%)
mixed	1	0.09	4.2
	2	0.18	72.8
	3	0.34	12.6
	4	0.63	10.4
uniform		0.18	100

3. 基礎方程式

鉛直1次元境界層方程式は次式で与えられる。

$$\frac{\partial(u - u_b)}{\partial t} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau}{\partial z} + u_b \frac{\partial u_b}{\partial x} \quad (1)$$

ここに、 u は境界層内における x 方向の流速成分、 u_b は境界層外縁における x 方向の水粒子速度、 ρ は流体の密度である。式 (1) 中の摩擦応力は Prandtl の混合距離理論により算出する。

粗度長および乱流境界層の厚さの評価法は伊福 (1986) を採用する。

沈降速度 w_{0i} を持つ砂粒子の鉛直1次元の乱流拡散方程式は次式のように与えられる。

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} + w \frac{\partial C_i}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial C_i}{\partial z} \right) + w_{0i} \frac{\partial C_i}{\partial z} \quad (2)$$

ここに、 C_i は砂粒子の濃度、 K_z は乱流拡散係数である。乱流拡散係数は、水粒子の水平および鉛直方向の速度成分に依存するものを仮定する。

$$K_z = \gamma(l_T u^2 + l_L w^2)/q \quad (3)$$

ここに、 γ は正の係数、 l_T 、 l_L は水粒子の水平、鉛直方向の速度成分による拡散係数への寄与を表す特性長であり、 $l_L = a l_T$ (a : 正の係数)、 $q = (u^2 + w^2)^{1/2}$ である。

著者の一人の均一粒径の砂粒子が一様に分布する場合を対象としたモデルを修正し、各粒径ごとの掃流層内の濃度 C_{0i} を次式で算出する。

$$C_{0i} = 2P_i \rho_s g d_i V i_{bi} / 3 / \int_{z_0}^{\delta_B} u dz \quad (4)$$

ここに、 P_i は各粒径の pick-up rate、 ρ_s は砂粒子の密度、 d_i は砂粒子の各粒径、 V は砂粒子の移動速度、 i_{bi} は占有率、 δ_B は掃流層の厚さである。砂粒子の移動速度は掃流層内の水粒子の断面平均流速で評価する。直径 d_i の着目砂粒子には、同一粒径の砂粒子が隣接する場合を対象としたモデルを構築した。この場合の粒径別限界掃流力は図1中の●であり τ_{ci} および τ_{cm} は、それぞれ、着目砂粒子および平均粒径の砂粒子の限界掃流力である。平均粒径より小さい砂粒子の限界掃流力は Egiazaroff のそれより小さく、平均粒径より大きい砂粒子のそれは Egiazaroff のそれより大きい。そこで、図2に示すように着目砂粒子には底面における占有率が最大の砂粒子が隣接する場合を対象として、砂粒子の限界掃流力を算出した結果が図1中の▲である。最小の粒径 (0.074 mm) の砂粒子の限界掃流力は Egiazaroff のそれより 20 % 程度小さいが、その他の粒径の砂粒子の限界掃流力は、Egiazaroff のそれらとほぼ一致する。そこで、芦田・道上 (1971) に従い隣接する砂粒子の粒径が着目砂粒子のそのの

2/5より小さいものの限界掃流力を臨界値とした場合の結果が図中の○である。 d_i/d_m の値が0.4より小さい砂粒子の限界掃流力も芦田・道上の結果とほぼ一致し、満足いく結果が得られることが判る。

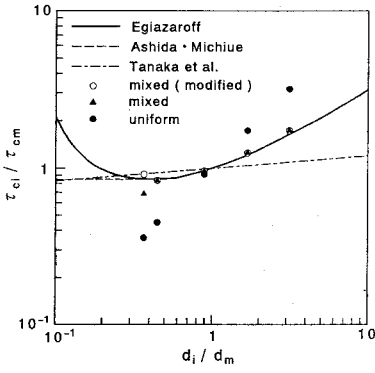


図1 混合砂の粒径別限界掃流力

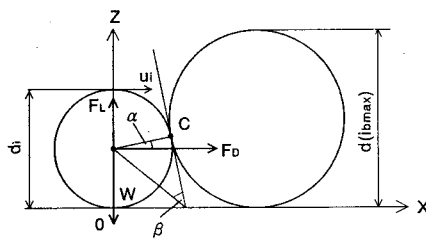


図2 混合砂床モデル

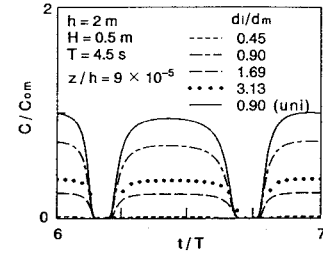
式(4)で求めた各粒径ごとの掃流層内の濃度を線形に重ね合わせるにより掃流層内の全濃度を評価する。また、各粒径ごとに乱流拡散方程式を解き、算出した濃度を線形に重ね合わせるにより任意の高さにおける全濃度を評価する。掃流層厚は解析対象とした粒径のうちの最大粒径の2倍とする。

4. 解析結果

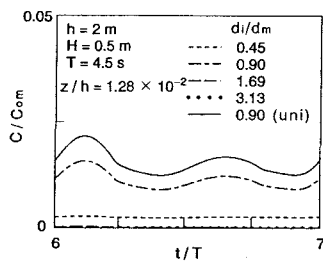
掃流層内および境界層外縁近傍における無次元化した濃度の経時変化を図3に示す。粒径の大きい砂粒子の濃度は底面から離れると急激に減少する。いずれの場合も底面から離れるにつれて無次元化濃度の値は小さくなり、ピークの生じる位相もずれる。

著者の一人が得た観測資料に基づいてパラメータ解析を行い、算出した平均濃度の鉛直分布を、その観測資料とともに示したのが図4である。混合砂および均一砂の場合ともに比較的うまく再現し得た。混合砂と均一砂の場合で比較すると、混合砂の鉛直分布の方が均一砂のそれよりも観測結果と良く一致している。

粒径別の無次元掃流漂砂量とシーلز数との関係を図5に示す。粒径ごとに比較的まとまった傾向を示しており、シーلز数が小さい方から粒径が大きい順に並んでいる。こうした傾向は、芦田・道上の結果と同一である。



(a) 掃流層内



(b) 境界層外縁近傍

図3 無次元化濃度の経時変化

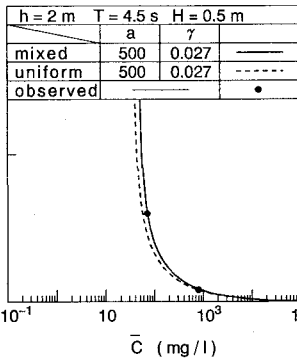


図4 平均濃度の鉛直分布

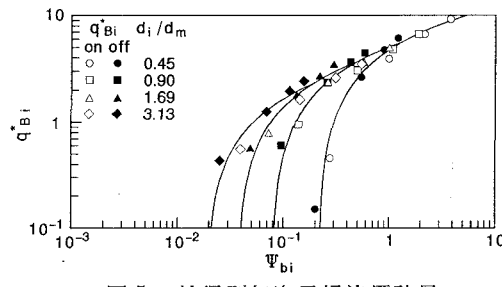


図5 粒径別無次元掃流漂砂量