

波の前傾・後傾が漂砂に及ぼす影響

愛媛大学工学部 正 員 伊福 誠
 復建調査設計(株) 正 員 〇松本 謙
 復建調査設計(株) 井上浩司

1. はじめに

波動場の底面流速が完全な単振動で質量輸送速度のような恒流成分も無いと仮定すると、底質の *net* の漂砂量は 0 である。従って、波動場で *net* の漂砂量が存在する原因は、底面上の水粒子速度が単振動から僅かに歪むこと、および質量輸送速度のような平均流が存在するためである。いずれにしても、2 次オーダーの微小量が漂砂に深く関与しているものと考え、単振動からの歪みによって生ずる漂砂機構を Bijker ら (1965) は、第 1 機構と称しているが、歪を生ずる原因は 2 倍周波数成分が発生するためであると考えられる。そこで、基本周波数成分と 2 倍周波数成分との線形重ね合わせをすれば、両成分の位相差の大きさによって歪みの度合いは異なり、前傾あるいは後傾する非対称な流速波形が発生する。また、その非対称性による流体力の違いから、漂砂量にも差が生ずることは明らかである。本研究では、前傾あるいは後傾する流速波形の下での底面近傍における砂の移動について調べる。

2. 基礎方程式

鉛直 1 次元の境界層方程式は次式で与えられる。

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

ここに、 u , u_b は、境界層内、境界層外縁における x 方向の速度成分、 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。

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、 $l_L = \alpha l_T$ (α : 正の係数)、 $q = (u^2 + w^2)^{1/2}$ である。

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。

3. 境界層外縁における流速および底面

次式のように、基本周波数成分と 2 倍周波数成分を線形に重ね合わせて境界層外縁における x 方向の速度成分を定義した。

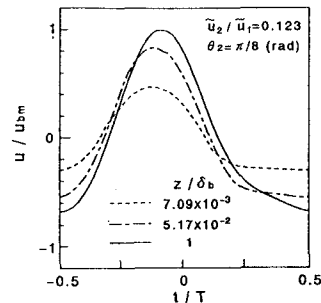
$$u_b = \tilde{u}_1 \cos(kx - \sigma t) + \tilde{u}_2 \cos 2(kx - \sigma t - \theta_2/2) \quad (5)$$

ここに、 $\tilde{u}_1$, $\tilde{u}_2$ は基本周波数成分、2 倍周波数成分の流速振幅、 k は波数、 σ は角周波数、 θ_2 は基本周波数成分と 2 倍周波数成分の位相差 (基本周波数成分の初期位相を 0 とする) である。式 (1) 中の θ_2 が 0 ならば $\tilde{u}_2$ が増大するほど波形の上下非対称性は増大し、 $\tilde{u}_2$ が一定で θ_2 が増大あるいは減少すれば波形の前傾あるいは後傾が増大する。なお、水深は 2 m、基本周波数成分波の周波数は 0.222 Hz とし、 $\tilde{u}_2/\tilde{u}_1$ は、0.081, 0.123 および 0.162 の 3 通り、 θ_2 は $-\pi/2$ から $\pi/2$ まで $\pi/8$ ごとに変化させた。

底面は、0.09 mm, 0.18 mm, 0.34 mm および 0.63 mm の 4 種類の粒径で構成される混合砂床と 0.18 mm の粒径のみで構成される均一砂床の 2 通りを解析対象とした。なお、混合砂床における各粒径の占有率は、4.2%, 72.8%, 12.6% および 10.4% である。

4. 解析結果

図 1 に境界層内における流速の位相変化を示



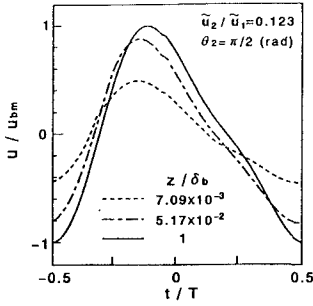


図1 境界層内流速の位相変化

す。流速波形の前傾・後傾性が增大するにつれて、底面近傍の流速がピークとなる位相は早くなり、正の極大値と負の極大値との差が小さくなる。このことは *driving force* である圧力勾配に関係するのではないかと考える。

掃流漂砂量に及ぼす2倍周波数成分の位相の影響をみると、負の掃流漂砂量が最大となるのは波形の後傾度が最大となる $\theta_2 = -\pi/2$ で生じ、正の漂砂量よりも大きい。一方、正の掃流漂砂量が最大となる位相は、粒径によって差はあるが、波形が前後対称かもしくは $\theta_2 = \pm\pi/8$ の比較的前傾・後傾度が小さい場合である。なお、正の掃流漂砂量と負の掃流漂砂量が等しくなる位相はほぼ $\theta_2 = -3\pi/8$ であり、粒径が大きいものほど正・負の差が小さいことから、粒径の大きいものは流速波形の非対称性に敏感である(図2)。

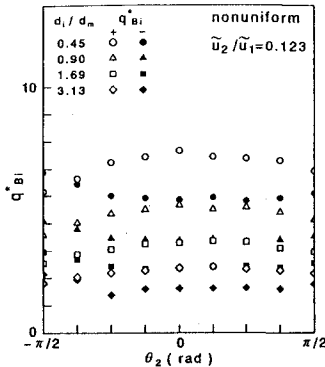


図2 θ_2 と掃流漂砂量

流速波形の非対称性を示す量として加速度を考え、加速度と *mobility parameter* の積で表されるパラメータ Ω を導入し、掃流漂砂量と Ω との関係調べた結果、正および負の掃流漂砂量は、それぞれ Ω_+ および Ω_- が增大するにつれて増大し、両者は良く似た傾向を示す。また、*net* の掃流漂砂量は $(\Omega_+ - \Omega_-)$ が增大するにつれて減少

する(図3)。

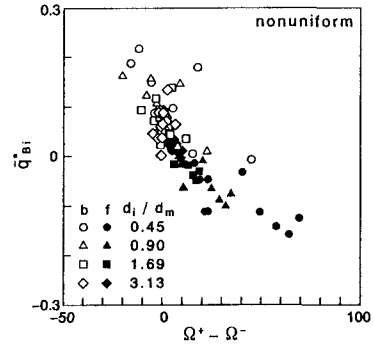


図3 $(\Omega_+ - \Omega_-)$ と *net* の掃流漂砂量

図4は掃流漂砂量に及ぼす粒径の影響について示したものである。 $\tilde{u}_2/\tilde{u}_1$ が0.081の場合、均一砂床および混合砂床とも *net* の掃流漂砂量はすべて正である。混合砂床の場合、*net* の掃流漂砂量は θ_2 が $-\pi/8$ で極大となる。一方、均一砂床では、*net* の掃流漂砂量は θ_2 が $\pi/2$ で極大となる。流速波形の後傾の度合いが大きい場合には、混合砂床の *net* の掃流漂砂量は均一砂床のそれより大きい。なお、均一砂床および混合砂床とも、 θ_2 が增大するにつれて *net* の掃流漂砂量は減少する。 $\tilde{u}_2/\tilde{u}_1$ が0.162の場合、均一砂床および混合砂床とも *net* の掃流漂砂量は θ_2 が $-\pi/4$ で極大となり、 θ_2 の増大に伴って掃流漂砂量は減少し、 θ_2 が $\pi/8$ で極小となる。 θ_2 が $-\pi/4 \sim -\pi/8$ の間で均一砂床と混合砂床の *net* の掃流漂砂量は等しくなる。

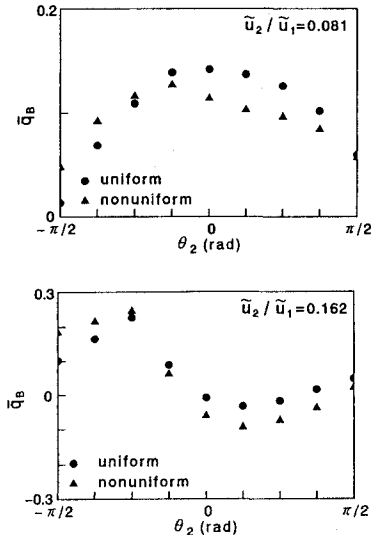


図4 掃流漂砂量に及ぼす粒径の影響