

II-369

シートフロー状漂砂の底質粒子の移動速度に関する研究

水資源開発公団 正会員 染矢武彦
北海道大学工学部 正会員 山下俊彦

1. はじめに シートフロー状態の漂砂は多量の砂移動が生じるので、海浜変形等を取り扱う際に重要である。そのため、香取ら(1982)¹⁾以来数多くの研究が行われている。山下ら(1993)²⁾は、シートフロー状砂移動に対する非定常性のパラメータとして比重の効果も含んだ形で P_m (P_m :無次元圧力勾配)を採用し、移動層厚はほぼシールズ数 Ψ_m の1.5乗、 P_m の3乗に比例することを実験により明らかにしている。また、移動層内の底質粒子の流速分布は移動層厚がほぼ同じ場合には、 P_m/Ψ_m が大きいほど流速が大きくなることを明らかにしている。本研究では、移動層を混相流とみなし、境界層方程式を用いた解析を行い、底質粒子の流速分布について実験値と理論値とを比較検討する。

2. 解析方法 混相流の仮想的な粘性係数を μ_* とすると、境界層方程式は式(1)となる。

$$\{(1+(s-1)C)\} \frac{\partial U_p}{\partial t} = U_m \cos \omega t + \frac{\mu_*}{\rho} \frac{\partial^2 U_p}{\partial Z^2} \quad \text{-----(1)}$$

ここで、 U_p :混相流の速度、 s :底質粒子の比重、 ρ :流体の密度、 Z は静止底質表面をゼロとし鉛直上向きを正とした。境界条件は、移動層下端で $U_p = 0$ 、境界層外縁において $U_p = U_m \sin \omega t$ である。 μ_* については、高濃度の範囲まで有効な式(2)を用いた。³⁾

$$\frac{\mu_*}{\mu} = \frac{1.2}{\{(C_0/C)^{1/3} - 1\}^2} + 1 + \frac{5}{2}C \quad \text{-----(2)}$$

ここで、 μ :流体の粘性係数、 C_0 :静止状態の底質濃度である。

本研究では、移動層の流速分布への非定常性、移動層厚の影響を調べるため濃度分布は山下ら(1988)⁴⁾の実験結果を基に次式のように与えた(図-1)。

$$\begin{aligned} -1 \leq Z/\delta_s \leq -0.5 & \quad C = C_b \\ -0.5 < Z/\delta_s \leq 0.5 & \quad C = C_b/2 [1 + \cos\{\pi(Z/\delta_s + 0.5)\}] \\ Z/\delta_s > 0.5 & \quad C = 0 \end{aligned} \quad \text{-----(3)}$$

ここに、 δ_s :移動層厚、 C_b :移動層の底面濃度である。

3. 結果と考察 図-2は、比重の異なる3種類の粒子について P_m/Ψ_m が0.4程度でほぼ等しく、移動層厚 δ_s もほぼ等しい場合の底質粒子速度の実験結果を示したものである。位相は主流の反転時をゼロとした。3種類の粒子で底質粒子速度分布の位相変化はほぼ同じであることが分かる。これより、移動層厚が同じ場合には、底質粒子の速度分布が粒子を動かそうとする2つの外力(無次元の圧力勾配とせん断応力)の比 P_m/Ψ_m でほぼ決定されることが分かる。

図-3は、図-2と同条件での底質粒子速度の計算結果である。ただし、 $C_b = 0.95C_0$ とした。図-3を Z 方向に1.2倍し、図-3の $Z/\delta_s = -0.1$ を図-2の $Z/\delta_s = 0.1$ に合わせると計算結果は実験結果とほぼ一致することが分かる。図-3の位相 $1/2\pi$, $5/8\pi$ で比重1.41の計算結果が大きめになっているが、これは後述の様に移動層厚が他のものより大きいためと考えられる。

図-4は、比重 $S=1.41$ の粒子で δ_s がほぼ等しく、 P_m/Ψ_m が異なる3つのケースについて実験結果を示したものである。この図より、移動層厚がほぼ等しい場合には、 P_m/Ψ_m が大きいほど移動層内部の流速が大きくなっていることが分かる。

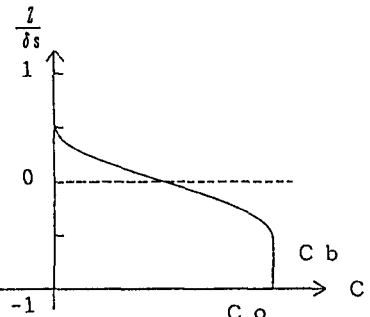


図-1 濃度分布

図-5は、図-4と同条件での底質粒子速度の計算結果である。ただし、 $C_b=0.95C_o$ とした。 Z 方向については図-2、図-3の比較の場合と同様にすると、計算結果は実験結果をほぼ説明できることが分かる。この場合も移動層厚の大きい $P_m/\Psi_m=0.412$ の位相 $1/2\pi$ 、 $5/8\pi$ の流速分布は計算値のほうが大きくなっている。

図-6は、 $P_m/\Psi_m=0.65$ 、 $S=1.41$ で移動層厚が異なる場合の流速分布の実験結果である。この図より P_m/Ψ_m が同じでも移動層厚が大きい程移動層内の底質粒子速度は大きくなることが分かる。

図-7は、図-6と同条件での計算結果である。(a)では $C_b=0.95C_o$ 、(b)では $C_b=0.97C_o$ とした。計算結果と実験値はほぼ一致していることが分かる。(b)についても $C_b=0.95C_o$ とすると、図-3、図-5でも述べた様に位相 $1/2\pi$ 、 $5/8\pi$ で粒子速度の計算値の方が大きくなる。移動層厚が大きい場合には、実験でも移動層下部の濃度は大きくなる傾向があるが、これは移動層下部は粒子の重みで濃度が高くなるためと考えられる。

参考文献 1)香取ら(1980),海講,PP.202~206, 2)山下ら(1993),海講,pp.331~335, 3)Savageら(1983),J.F.M,PP.453~472, 4)山下ら(1988),海講,pp.297~301

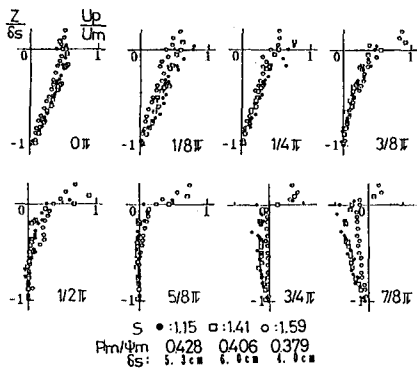


図-2 底質粒子速度分布（実験）

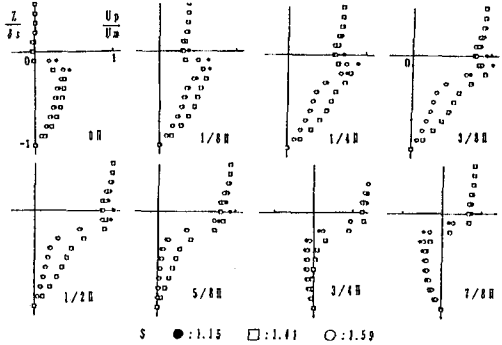


図-3 底質粒子速度分布（計算）

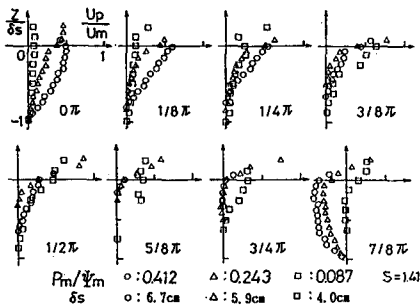


図-4 底質粒子速度分布と P_m/Ψ_m （実験）

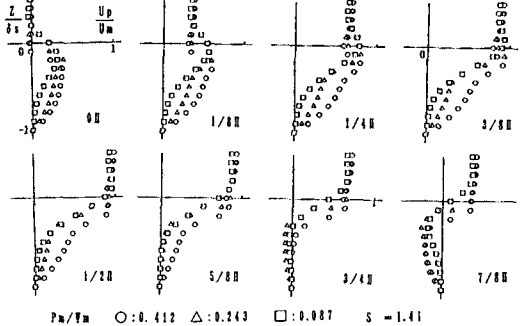


図-5 底質粒子速度分布と P_m/Ψ_m （計算）

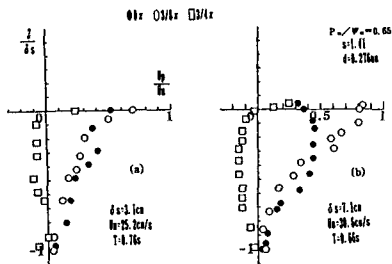


図-6 底質粒子速度分布と δ_s （実験）

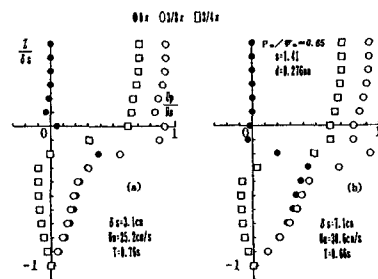


図-7 底質粒子速度分布と δ_s （計算）