

II-290

非定常性に着目したシートフロー状砂移動機構

北海道大学工学部 学生員 牧野 有洋
水産庁漁港部 正 員 浅川 典敬
北海道大学工学部 正 員 山下 俊彦

1. はじめに

波による漂砂と一方向流場の流砂は、底質粒子が流体運動によって輸送される現象であり、両者には共通の法則性があると考えられる。波動場と一方向流場の大きな違いは、周期あるいは非定常性（ $=da/d$ ；ここに da ：水粒子移動振幅、 d ：底質粒径）の効果である。Einstein¹⁾、土屋ら²⁾は、漂砂量への非定常性の効果を陽に取り上げ、同じシールズ数でも非定常性が強い（ da/d が小）ほど漂砂量が増加することを明らかにしている。山下ら³⁾は、掃流砂を対象として、振動流場の移動確率、移動距離および漂砂量を非定常性の効果を考慮することにより、波動場と一方向流場の砂移動現象を統一的に取り扱っている。本研究では、海浜変形を取り扱う際に重要であるシートフロー状砂移動を対象とし、振動流場の底質粒子の移動速度、濃度分布、移動層厚を実測し、それらの諸量に対する周期あるいは非定常性の効果を明らかにする。

2. 実験装置および方法

実験には、多層の底質移動を発生させることができるU字管振動流装置（測定部の長さ275cm）を用いた。実験条件は、表-1に示す13ケースである。周期は約5.5秒、4.6秒、3.5秒、3.1秒の4種類である。底質粒子としては、移動状況が把握しやすい粒径 $d=2.8\text{ mm}$ （比重 $s=1.41$ ）と粒径 $d=3.0\text{ mm}$ （ $s=1.60$ ）の2種類のプラスチック粒子を用いた。粒子の運動をシャッターつき白黒ビデオカメラで撮影し、各位相ごとに移動速度、濃度分布を求めた。

Case	周 期 T (Sec)	流速振幅 U_m (cm/s)	粒 径 d (cm)	比 重 s	da/d
1-1	5.49	135.2	0.276	1.41	656
1-2	5.48	120.5			763
1-3	5.44	108.8			682
1-4	5.43	80.5			504
2-1	4.57	115.8			511
2-2	4.51	108.5			577
2-3	4.59	101.7			539
2-4	4.65	89.1			478
3-1	3.56	97.5			401
3-2	3.53	89.0			362
3-3	3.52	79.6			323
3-4	3.51	70.6			286
4-1	2.08	84.9	0.30	1.60	278

3. 実験結果および考察

3-1 流速分布

底質粒子の速度分布の測定結果の1例を図-1に示す。 Z は流れを作用させないときの底質の上面をゼロとし鉛直上向きを正、位相は主流の反転時をゼロとした。この図を見ると、流速分布は2つの領域に分けられることが分かる。すなわち、主に流れのせん断応力を受けて動く上層（ $Z > -1\text{ cm}$ ）と圧力勾配を受けて動く下層である。速度勾配は下層より上層の方がかなりきつくなっている。各位相毎にみても、位相 0π では $Z = -3\text{ cm}$ 程度のかなり深い層まで流れの圧力勾配により移動し位相も主流よりかなり進んでいる。位相 $1/2\pi$ までは上層は主流からのせん断応力をうけて加速し、下層の方は徐々に静止するようになる。図-2は、周期のちがいによる

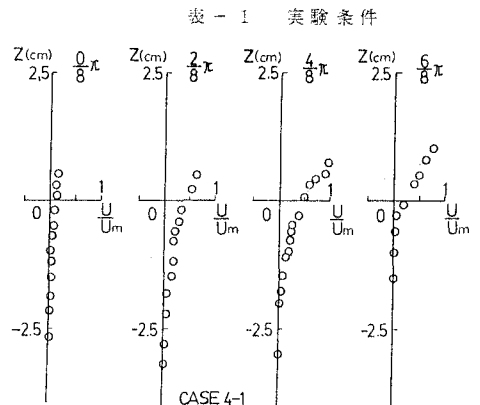


図-1 流速分布

流速分布の変化を調べた1例である。すなわち、流速振幅はいずれも約80cm/sで、周期が5.5秒と3.5秒の流速分布の比較である。移動層上層ではほぼ一致しているが、下層では周期3.5秒のほうが流速が大きく深い層まで移動していることが分かる。これは、上層は主に流れのせん断応力を受けて移動している層であり流速振幅によって規定されるためと考えられる。一方下層は、主に流れの圧力勾配によって移動している層であり、周期が短いほど圧力勾配が大きいためと考えられる。

3-2 濃度分布

濃度分布の測定結果の1例を図-3に示す。濃度 C は静止状態の濃度 C^* で無次元化している。この図より濃度分布は、時間的にあまり変化しないことが分かる。また、濃度が鉛直方向に一定で濃い領域（下層）と濃度が上方に行くに従って急激に減少する領域（上層）があり、流速分布とよく対応していることがわかる。濃度分布は、周期3.5秒のCase3についてのみしか調べていないので、周期の影響による変化については今回は議論できない。

3-3 移動層厚

移動層厚 δs と最大シールズ数 Ψ_m 、周期 T の関係を示したのが図-4である。移動層厚 δs は、移動している層が流れを静止したときにとる厚さで、移動層下端はすぐしたの粒子を半周期の間に1個乗り越える位置とした。周期3.5秒のCase3の場合には、移動層厚がほぼ周期的に変動するCaseがあったが、この際には移動層厚としてその最大値をとった。各周期ごとにみると、粒径で無次元化した移動層厚 $\delta s/d$ は、 Ψ_m の2乗にほぼ比例することが分かる。また、周期が短いほど $\delta s/d$ が大きくなっていることが分かる。これは、3-1で述べたと同様に、流速振幅が同じ（ほぼシールズ数も同じ）場合周期が速いほど流れの持つ圧力勾配は大きく、それは移動層の深い位置まで伝わるので移動層厚が大きくなるものと考えられる。周期の影響による移動層厚の変化は、漂砂量にも大きく影響していることが推定され、移動層厚の定量的把握が重要である。

前報³⁾の掃流砂の移動確率 P は次式で表せる。

$$P=10\left(1+\frac{300}{d_0/d}\right)^2\left(\frac{s-1}{s+C_m}\right)(\Psi_m-\Psi_c)^{1.5}$$

ここに、 C_m ：付加質量係数、 Ψ_c ：移動限界シールズ数である。上式と今回の移動層厚との比較を試みる。上式の適用範囲は、掃流砂ゆえ移動確率 P が1.0すなわち底質の表面の1層が移動している場合までである。非定常性 d_0/d の効果については、今回の実験はCaseが少ないため十分には明らかになっていない。ただし $d_0/d=500$ については、図-4より $\delta s/d=1$ となるシールズ数 Ψ_m を求めることができる。その値は $\Psi_m=0.32$ であり、上式より $P=1.0$ 、 $\Psi_c=0.04$ として求まる値 $\Psi_m=0.36$ とほぼ同じ値となり、今回の実験値がほぼ妥当な値であると考えられる。周期あるいは非定常性の効果による移動層厚の変化については、今後のデータの集積を待って、さらに定量的に明らかにする必要がある。

（参考文献）

- 1) Einstein, H.A. (1972): Sediment Transport by Wave Action, Proc. 13th ICCE
- 2) 土屋義人、上田康裕、大下哲則（1984）：掃流漂砂量則について；第31回海岸工学講演会論文集
- 3) 山下俊彦、金沢一郎（1989）：非定常性に着目した掃流砂の移動機構；第36回海岸工学論文集

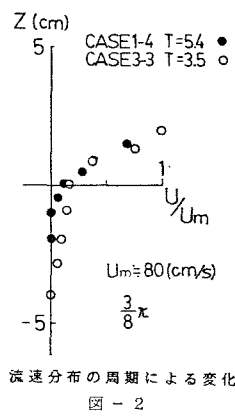


図-2

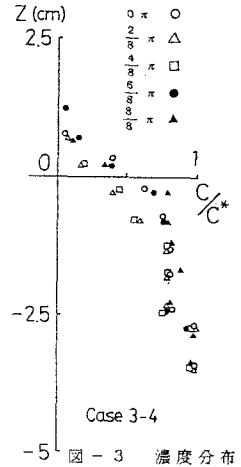


図-3 濃度分布

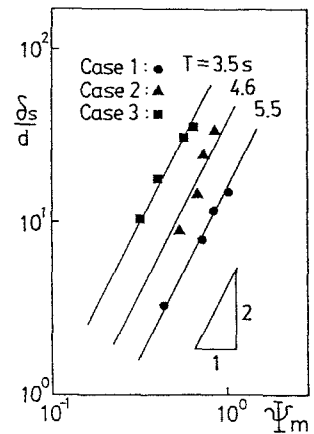


図-4 移動層厚