

II-484

非定常性に着目したシートフロー状砂移動に関する実験的研究

清水建設(株) 正員 牧野 有洋
北海道大学 正員 山下 俊彦

1. はじめに

波による底面流速が大きくなるとシートフロー状砂移動が発生する。これは主に碎波帯内及び碎波帯付近で起こる現象であり、多量の砂移動を生じるので海浜変形を取り扱う際に重要である。従来、波による漂砂量はシールズ数のみの関数として取り扱われてきた。しかし、波動場の最も重要な特徴は非定常性であり、非定常性が強い（ d_o/d が小、ここに、 d_o ：水粒子移動距離、 d ：粒径）と漂砂量が増加することが掃流砂で明らかにされている^{1),2)}。しかし、シートフロー状砂移動では、現象を実験室で発生させること自体が困難なため、非定常性の効果は調べられていないのが現状である。本研究では、新たに振動流発生装置を製作し、シートフロー状態の底質粒子の移動速度、濃度分布、移動層厚や水粒子速度を実測し、それらの諸量に対する非定常性の効果に着目して移動機構を調べる。

2. 実験装置及び方法

実験は、多量の底質移動を発生させることができる図-1に示す振動流装置を用いて行った。この装置は、0.6秒から20秒までの広範囲の周期の振動流を発生させることができる。水粒子速度は光ファイバレーザ流速計、底質速度はビデオを用いて測定した。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 $s = 1.41$ ）の数色に着色したプラスチック粒子を用いた。実験条件は、一層以上の底質移動が生じるように、周期 $T = 0.75 \sim 5.5$ 秒、流速振幅 $U_m = 15 \sim 135\text{cm/s}$ 、非定常性のパラメータ $d_o/d = 15 \sim 860$ の範囲で変化させ、約40ケースの実験を行った。

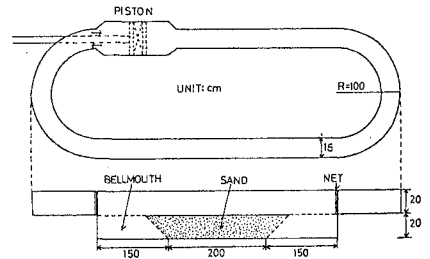


図-1 実験装置

3. 実験結果及び考察

3. 1 流速分布

図-2に水粒子の瞬間流速の一例を示す。 z は、流れを静止させたときの底面の位置をゼロとし上向きを正とした。この図より、流速振幅は $z=0$ まではほぼ同じで下方に行くにしたがって小さくなっている。位相は $z \leq -1\text{cm}$ ではかなり進んでいることがわかる。この傾向は d_o/d によらず同じである。また、 $z \leq -1\text{cm}$ では、流速がほぼゼロになる部分が存在し、深い位置ほどこれが長い時間継続している。 d_o/d が小さい場合にはこの流速ゼロが続く状態はない。一方、乱れについては $z=0$ 付近で大きく、その上下で乱れが小さくなっている。これは、図-3、図-5を見るとわかるように、 $z=0$ 付近では速度勾配が大きくある程度濃度があり、 $z < 0$ は濃度が大きく、 $z > 0$ では底質粒子がほとんどなく速度勾配も小さいためだと考えられる。この傾向は d_o/d によらずほぼ同じであるが、 d_o/d が小さいほど $z < 0$ の乱れは大きい。 $z = 9.5\text{cm}$ の乱れは装置自体の乱れによるものである。

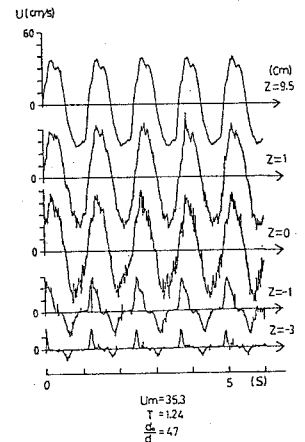


図-2 瞬間流速分布

図-3に、各位相における水粒子の位相平均流速（図中の●印）と底質粒子速度（▲印）の測定結果の一例を示す。この図を見ると、水粒子と底質粒子がほぼ同じ速度で移動していることがわかる。また、移動層

内では $7/8\pi$ ですでに流速の反転が起こり位相が主流よりかなり進んでいる。

図-4に、底質粒子速度 U_p の鉛直分布への d_o/d の効果の一例を示す。この図は位相 π の時のもので主流反転時である。縦軸は鉛直座標 z を移動層厚 δs で無次元化している。移動層厚 δs は、静止時の底面上端から移動層の下面までの距離である。各ケースとも $\delta s = 5 \sim 7 \text{ cm}$ で、 $d_o/d = 401$ の場合のみ $\delta s = 12 \text{ cm}$ である。図より、 d_o/d が小さいほど移動層内部の流速は大き

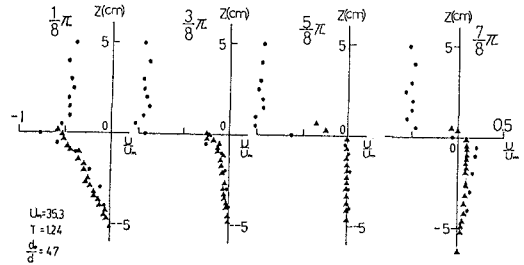


図-3 水粒子及び粒子の速度分布

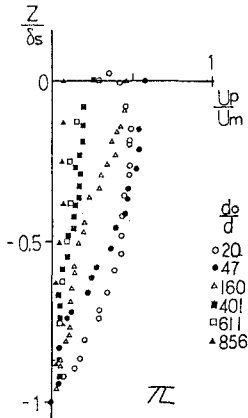


図-4 粒子の速度分布

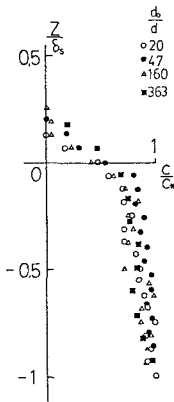


図-5 濃度分布

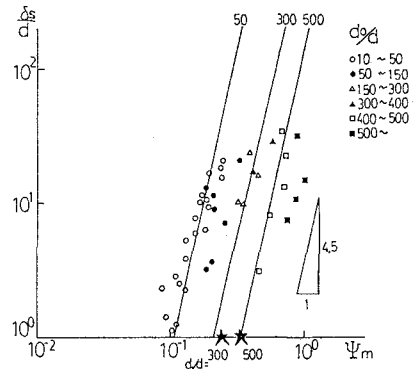


図-6 移動層厚

くなっているのがわかる。これは、 d_o/d が小、すなわち非定常性が強いほど圧力勾配の影響が大きく、移動層内の流速が流速反転時で大きくなっているものと考えられる。

3. 2 濃度分布

濃度は時間的に少し変化するが、測定精度が流速の場合より悪いためここでは一周平均濃度について述べる。図-5に、その結果の一例を示す。濃度 C は静止状態の濃度 C_s で無次元化している。濃度が鉛直方に一定で静止状態の8~9割に達する濃い領域（下層）と濃度が上方へ行くに従って急激に減少する領域（上層）があることがわかる。この分布形は、流速分布とよく対応しており、上層は主にせん断応力、下層は圧力勾配を受けて移動していると考えられる。また、分布形は d_o/d によらずほぼ一定であるが、濃度の濃い領域では少しの濃度差でも粒子の噛み合わせによる抵抗は大きく異なるため、濃度の測定精度を上げ今後検討する必要がある。

3. 3 移動層厚

図-6に、移動層厚 δs と最大シールド数 Ψ_m 及び d_o/d の関係を示す。同じシールド数では、非定常性が強い（ d_o/d が小）ほど粒径で無次元化した移動層厚 $\delta s/d$ が大きくなっている。各 d_o/d ごとにみると $\delta s/d$ は、 Ψ_m の4.5乗にはほぼ比例していることがわかる。図中の★は、山下らの掃流砂の移動率の推定値から、適用範囲の限界である $\delta s/d = 1$ で、 $d_o/d = 300$ と500についてシールド数を求めたものである。両者とも本研究のものとほぼ一致しており、今回の実験値がほぼ妥当な値であると考えられる。以上より、移動層厚は非定常性により大きく異なり、同じシールド数でも漂砂量は非定常性が強いと著しく増加するものと考えられる。

参考文献 1) 土屋・上田・大下(1984)：第31回海講, 2) 山下・金沢(1989)：第36回海講