

京都大学工学研究科 正会員 酒井哲郎
 京都大学工学研究科 正会員 後藤仁志
 京都大学工学研究科 正会員 沖 和哉
 京都大学工学研究科 学生員(○)高橋智洋
 京都大学工学部 濱野哲夫

1.はじめに

シートフロー漂砂は、大量の土砂輸送を伴う移動形態であり、海浜変形に大きな影響を及ぼすなど、その工学的重要性は広く認識されているが、高濃度の粒子流であることから計測が困難なこともあり、力学機構の解明は必ずしも十分とはいえない。このような状況の下、近年、シートフロー漂砂の内部機構を把握する上で鍵となる砂粒子濃度分布や移動速度分布などの特性の計測が行われるようになり、データの蓄積も徐々に進みつつある。この種の計測には従来、U字管式振動流装置中での粒子運動をビデオ画像解析する方法がよく用いられてきたが、移動床部分の長さなど実験装置の構造上の制約やビデオ画像の非効率性といった問題があり、十分な実験的蓄積を得るに至っていない。そこで本研究では十分な長さの移動床部分を有した振動流装置と従来のアナログビデオカメラよりも多くの画素を擁するデジタルビデオカメラを用いて、均一粒径シートフロー漂砂に関するより信頼性の高いデータの収集を試みた。

2.実験方法・解析方法

実験はアクリル製閉管路型振動流装置(図-1参照)を用いて行った。通常、シートフロー漂砂に関する実験の多くはU字管式振動流装置を用いて行われてきたが、この装置は閉管路にプロペラ式の駆動系を接続して水塊を直接推進する方式なので、従来のU字管式振動流装置と比較して高精度の制御が可能である。装置の水平部には長さ4400mmの計測区間があり、移動床設置用に計測区間外よりも高さが100mmだけ大きく採られている。計測区間の流水断面は100mm×100mmである。底質粒子には、粒径 $d=5.15\text{mm}$ 、比重 $\sigma/\rho=1.32$ の球状粒子(人工真珠の核)を用いた。流れの条件は、周期 $T=6.0\text{s}$ 、流速振幅 $U=104.0\text{cm/s}$ の正弦振動流で、Shield's数は、 $\Psi=0.538$ である。粒子の挙動の撮影には合計114万個の画素を擁する3CCDデジタルビデオカメラを用いた。撮影された画像は静止画キャプチャーキットを取り付けたパーソナルコンピュータPowerMacintosh G3に転送されて解析された。濃度分布の解析にはNIH-Imageを用いた。前処理として、ビデオカメラから取り込まれたフルカラーの画像を二値化処理(画面上では粒子を黒に、流体を白に)する。次に、NIH-Imageを起動し、画像を鉛直方向に層状に分割してそれぞれの黒い部分の面積を測定する。速度分布の解析ではトレーサーとして着色粒子を混入させ、連続する瞬間映像を並列表示して粒子の1/30秒間の移動距離を視覚的に求めて計算した。

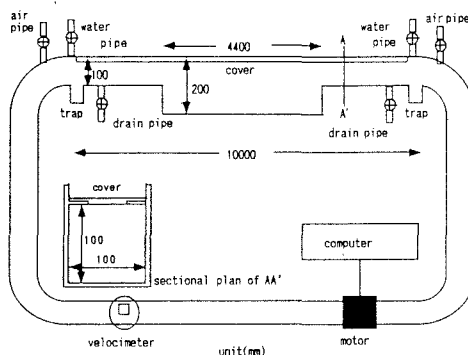


図-1 実験装置

3.解析結果・考察

上記のように求められた濃度分布 v_g と速度分布 u_p を次の式に代入すると単位幅無次元漂砂量が求められる。

$$q_s = A_3 d^3 \int_0^{\delta_m} v_g(y) \cdot u_p(y) dy \quad (1)$$

ここに、 A_3 ：球状粒子の形状係数である。

単位幅瞬間漂砂量の鉛直分布を図-2に、単位幅瞬間漂砂量（1次元量）の時間変化を図-3に示す。図-2の縦軸は y/d （ $y=0$ は静止時の地盤表面）、横軸は $q_B^* (= q_B / \sqrt{(\sigma/\rho - 1)gd^3})$ である。加速期には、漂砂量が幅広い層に分布し、減速期には狭い領域で漂砂量が存在していることが分かる。また、位相 $\phi=0$ （主流流速が反転する瞬間）において、既に正の向きの漂砂が生じ、位相 π において漂砂の方向が反転しているのは、粒子の位相速度が主流流速の位相よりも進んでいることによるものである。次に、漂砂量の時間変化の特性を示す。図-3の縦軸に q_B^* 、横軸に $\phi/2\pi$ をとった。加速期が立ち上がりが緩やかで、その後急増するのに対して、減速期には初期に急減した後に漂砂量がゼロに漸近する。このことは、 $(5/8)\pi$ と $(3/8)\pi$ における漂砂量の相違に端的に現れている。また、ここで半周期平均漂砂量を求め、既存の計測結果と比較を行い図-4に示す。図中において、縦軸は $\bar{q}_B/w_0d$ 、横軸は $\tau_{s,max}$ である。ここに、 $\bar{q}_B$ ：半周期平均漂砂量、 w_0 ：最終沈降速度、 $\tau_{s,max}$ ：無次元掃流力の最大値である。図中には、香取・渡辺・堀川(1980)、Sawamoto and Yamashita(1986)、Ahilan and Sleath(1987)および浅野ら(1993)の実験データとMadsen and Grant(1976)の式を併示した。本実験の結果は既往の研究と漂砂量に関して良い一致を示したと言える。

4. おわりに

本研究では、均一砂によるシートフロー漂砂の基本的な特性を明らかにし、解析の効率化とより信頼性の高いデータ収集を行った。均一砂の数密度分布からは、流速の加速期では密度変化のピークが流速よりも早くなり、減速期には層厚が速やかに変化することが確認された。移動速度分布からは、粒子移動速度変化が主流速よりも進んでおり、また粒子の加速に要する時間より減速に要する時間の方が長いことが確認された。さらに、漂砂量の特性から、減速期には漂砂量が少ないことが考察された。今後は、より自然条件に近い非対称な流速波形などの実験条件を設定し、シートフロー漂砂の力学機構の更なる解明を進めたい。

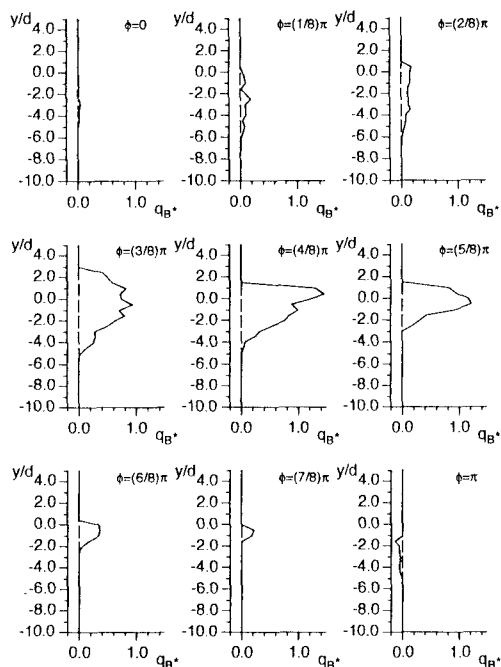


図-2 単位幅漂砂量の鉛直分布

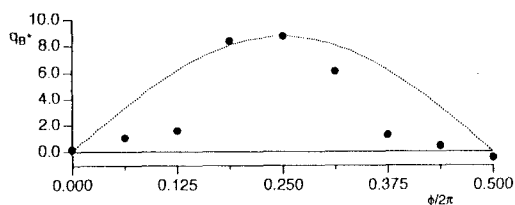


図-3 単位幅漂砂量の時間変化

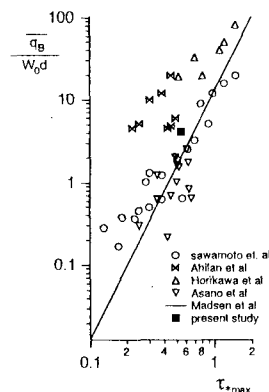


図-4 半周期平均漂砂量とShields数の関係