

## II-164 河床波上の粒子の浮遊運動

京都大学防災研究所 正員 ○藤田正治  
 京都大学防災研究所 正員 芦田和男  
 五洋建設 正員 向井健  
 住友建設 正員 藤坂賢治

1. はじめに 河床波上では、平坦河床上と異なり流れの非一様性が強く、乱れ強度や平均流速分布が流下方向に変化する。そのため、河床から浮上し浮遊する粒子の運動特性も浮上開始点によって相違するものと考えられ、河床波上の浮遊砂量を算定するためには、この点を考慮する必要がある。本研究は、河床波上の乱流計測と粒子の浮遊軌跡の高速ビデオ撮影から浮遊運動特性について考察するとともに、そのモデル化を行い浮遊粒子の運動特性について検討するものである。なお、以後では図-1に示す座標系に従って説明する。

2. 河床波上の乱流特性 まず、河床波上の流れの特性をトレーサーによる流速計測によって明らかにする。河床波は、勾配 1/389、単位幅流量  $q=175 \text{ cm}^2/\text{s}$ 、平均水深  $h=5.08 \text{ cm}$ 、平均摩擦速度  $u=3.58 \text{ cm/s}$  の条件で、粒径  $0.5 \text{ mm}$  の砂を用いて形成された砂堆の平均波長(13.7cm)と平均波高(0.6 cm)を模擬して二次元的に同一の砂をセメントで固めて作製した。トレーサーは、粒径  $0.5 \text{ mm}$ 、比重1.04、沈降速度  $0.56 \text{ cm/s}$  のポリスチレン粒子である。実験条件は河床波のスケールを決めるための実験と同じである。

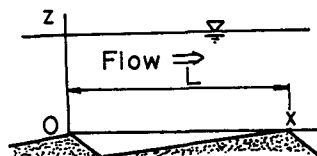


図-1 座標系

図-2に鉛直方向の平均流速  $\bar{w}$  の空間的な分布を示す河床付近や水面付近では境界に沿った流れが生じており同図に示すように  $\bar{w}$  は0でなく流下方向および鉛直方向に非一様性を示している。図-3に河床付近の鉛直方向の乱れ強度の流下方向の分布を示す。図中には、板倉らの実験結果<sup>1)</sup>と3. で述べる実験より得られた粒子の初期浮上速度の確率分布から逆算して求めた値も示している。この図から再付着点付近で強い上昇流が生じている

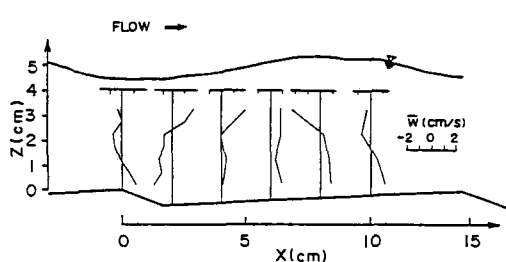


図-2 鉛直方向の平均流速分布

ことがわかる。河床付近に染料を注入して上昇流の発生周期  $T_B$  を調べると、 $h$  と最大流速  $U$  で無次元化した値が1.3から1.8になり平坦河床の場合とほぼ同程度の値となった。また、トレーサーをラグランジュ的に追跡して平均上昇流速の継続時間  $t_e$  を調べると河床付近の乱れ強度と  $h$  で無次元化した値が著者らの平坦河床における値<sup>2)</sup>と同じ範囲になった。さらに、上昇流の流下方向のスケールは、河床波の波長の2割程度であった。このことより本実験では上昇流の発生周期やスケールは、河床波の影響をあまり受けていない。

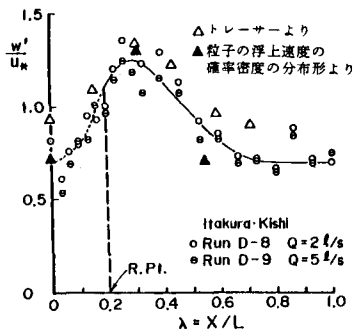


図-3 河床付近の  $w'$  の分布

3. 河床波上の粒子の浮遊運動特性 浮遊粒子の運動特性を検討するために、粒径  $1.4 \text{ mm}$ 、比重1.05のポリスチレン粒子の運動を高速ビデオ撮影した。さて、粒子が浮遊運動する時に粒子に働く外力を著者らの研究に従って粒子の軌跡と運動方程式とから調べる。

図-4に再付着点から浮上した場合の流体力、揚圧力および粒子の存在高さの時間変化の一例を示す。この図より、河床粒子に作用する揚圧力は初期に大きく、その後急激に減少して0になるが、粒子は流体力によって浮遊運動することがわかる。これは平坦河床上の粒子の浮遊機構と同じである。図-5に離脱時に粒

子に作用する $F_L$ の平均値 $F_{L0}$ の頻度分布を場所別に示す。再付着点付近に働く $F_{L0}$ が最も大きく、クレストにかけて減少する。このように、河床を離脱する位置によって作用する揚圧力が異なり、初期の浮上高さや浮上速度が異なる。

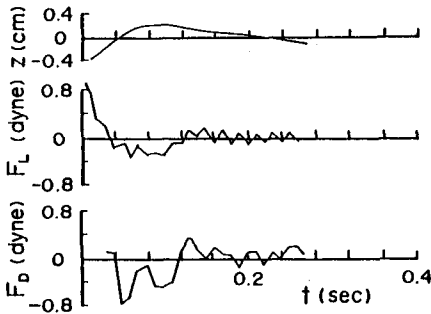


図-4 浮遊粒子の軌跡と作用する力

**4. 浮遊運動のモデル化** 河床波上の浮遊砂の運動を適切にシミュレートするためには、とくに鉛直方向の平均流速や乱れ強度の分布を考慮する事が重要である。基本的なモデルの構成は著者らの研究<sup>2),3)</sup>と同様に考え、乱れの平均寿命時間ごとの粒子の運動を確率的に解析する。モデル化における主な仮定は、(1) 粒子の鉛直方向の移動速度は各ステップで $w-w_0$ で近似する。ただし、ステップ1での浮上高さは文献<sup>2)</sup>より揚圧力や流体力を評価して算定される値の平均値とする。ここに、 $w$ :鉛直方向の流速、 $w_0$ :粒子の沈降速度である。(2) 流下方向の移動速度は解析を簡単にするために一定とし、 $u_p = u$ とする。ここに、 $u$ :流下方向の平均流速である。(3) 鉛直方向の乱れ強度 $w'(x, z)$ と平均流速 $\bar{w}(x, z)$ の分布を $x-z$ 平面に与え、各ステップの終了地点における $w'$ と $\bar{w}$ を次のステップでの $w'$ と $\bar{w}$ の条件とする。

以上のようなモデルの妥当性について検証するために、 $f(z_p, x)$ や $p_s(x_p)$ の理論値と3.で得られた実験値を比較する。ただし、 $w'$ と $\bar{w}$ の分布は実測値に即して与えた。図-6は河床を浮上した粒子の存在高さの確率分布の実験値と計算値を比較したものである。実験値が少なく

て詳細な事はわからないが、ほぼ理論値は実験値と適合している。図-7はステップレングス $x_p$ の超過確率分布の計算値と実験値を示したもので、計算値ではクレストから浮上開始した場合若干 $x_p$ が長くなっている。実験値ではそれが明確にわからないが、理論値と実験値がオーダー的にはよく一致している。

**5. おわりに** 以上、河床波上の流れと粒子の浮遊機構について考察したが、今後、流れの構造の推定法や浮遊機構に及ぼす河床波の3次元性の影響等について検討する必要がある。

<参考文献> 1) 板倉・森ら:河床波上の流れの乱れと浮遊砂の研究、第35回年講、1980. 2) 芦田・藤田:粒子の浮遊運動と河床付近の流れ、京大防災研年報、第27号B-2、昭59年. 3) 芦田・藤田ら:河床砂礫の浮上率と浮遊砂量、京大防災研年報、第28号B-2、昭60.

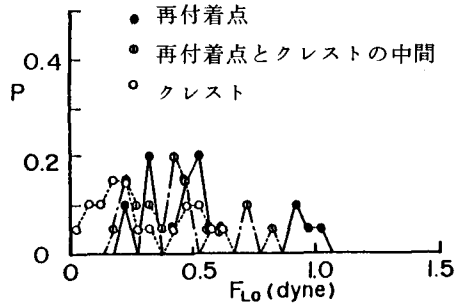


図-5 離脱時の揚圧力の分布

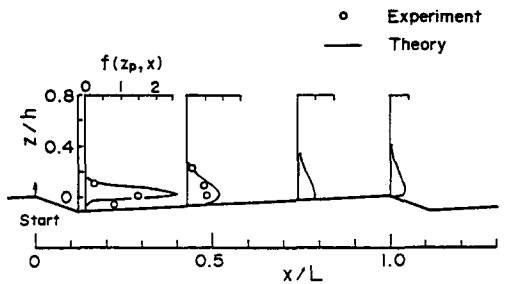


図-6 粒子の存在高さの分布

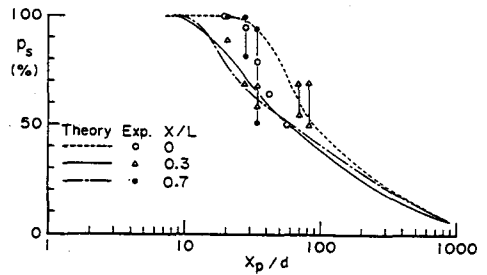


図-7 ステップレングスの分布