

京都大学大学院 ○瀧口茂隆  
 京都大学大学院農学研究科 藤田正治  
 京都大学大学院農学研究科 水山高久

1. はじめに

著者ら<sup>1), 2)</sup>は、浮遊砂の生成率Pを考慮した(1)式のような拡散方程式によって、広範囲な条件の濃度分布が計算できる可能性があることを示した。本研究では、河床から浮上して浮遊砂として生成されるまでの粒子（ここでは浮上粒子と呼ぶ）の濃度Csについて求め、浮遊粒子と浮上粒子の濃度の発達過程について計算した。さらにPやCsに及ぼす、大きな砂礫の遮蔽の影響についても検討した。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} - w_0 \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left( \epsilon \frac{\partial C}{\partial z} \right) + P \quad \dots\dots(1)$$

ここに、t：時間、C：浮遊砂の濃度、u：流速、x：流下方向座標、w<sub>0</sub>：粒子の沈降速度、z：水深方向座標、ε：拡散係数、P：単位時間、単位体積あたりに生成される浮遊粒子の体積である。

2. 河床からの浮上粒子の濃度

厳密に河床からの浮上粒子の濃度を求めるのは困難であるため、「河床から浮上する粒子は一定の速度w<sub>p</sub>で浮上し、平均流速でx方向に流下する」という仮定を与えると、初期条件を式(3)として浮上粒子の軌跡に沿って、式(2)が成立する。以上のような条件において式(2)を解いた。

$$\frac{dC_s}{dt} = -P \quad \dots\dots(2) \quad t=0; \quad C_s(0) = \frac{q_{su}}{w_p} \quad \dots\dots(3)$$

ここで、q<sub>su</sub>：河床からの浮上量、C<sub>s</sub>：浮上粒子の濃度、w<sub>p</sub>：粒子の上昇速度である。粒子の上昇速度は、乱れ速度をw<sub>f</sub>とすると、w<sub>f</sub>-w<sub>0</sub>で表されるとし、w<sub>p</sub>はw<sub>f</sub>-w<sub>0</sub>のw<sub>f</sub>>w<sub>0</sub>という条件のもとでの平均値とする。ただし、w<sub>f</sub>は標準偏差u\*の正規分布に従うとする。図-2,3はPを図-1のように与え、x<0においてq<sub>su</sub>=0、x≥0においてq<sub>su</sub>=一定の条件における浮上粒子の濃度分布を、河床面における浮遊砂濃度C(0)で基準化して示したものであり、集中分布の場合には三角分布の場合に比べてはやく平衡に達し、また、三角分布の場合には半水深まで浮上粒子が存在している。

3. 浮上粒子と浮遊粒子の発達過程

式(1)を解いて得られる浮遊粒子の濃度分布に、図-2,3の浮上粒子の濃度を加えて、2.と同じ条件に対するの浮遊砂の発達過程を見る。図-4,5は浮上粒子と浮遊粒子を合わせた濃度の発達過程

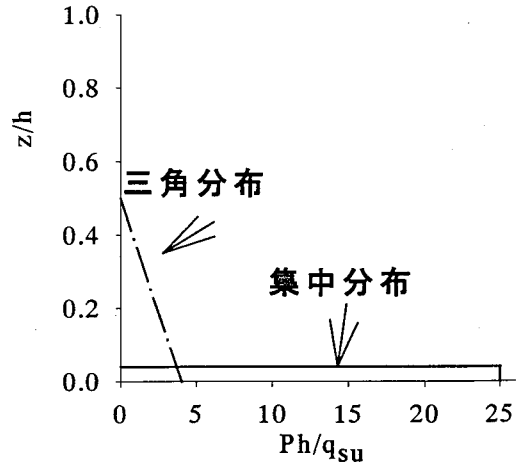


図-1 Pの分布

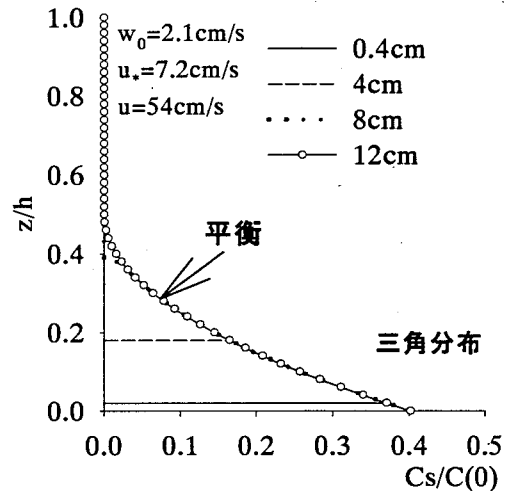


図-2 浮上粒子の濃度

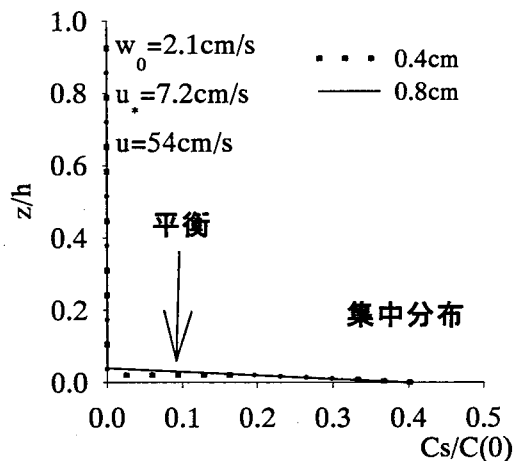


図-3 浮上粒子の濃度

程を示したものであり、浮上している粒子を考慮した分河床付近で濃度が大きくなっていく。三角分布の場合には、発達段階から濃度が河床から離れたところで大きくなり、集中分布の場合には河床近傍における濃度が大きくなっている。

#### 4. 大きな砂礫が与える影響

##### 4.1 Pの分布に与える影響

浮遊砂の生成率の鉛直分布は河床砂の上昇流による最終浮上高さの確率分布によって求められる。藤田<sup>3)</sup>はその算定方法を揚圧力係数  $c$ 、遮蔽係数  $k$ 、上昇流の作用時間係数  $c_f$  をパラメータとして提示している。ここに、粗面では  $c=2.5$ 、遮蔽なしのとき  $k=1$ 、完全遮蔽のとき  $k=0$  である。彼のモデルでは、河床での揚圧力が粒子の水中重量を上回った時に粒子が浮上するとしているが、大きな砂礫があった場合にはその遮蔽効果により、揚圧力の標準偏差が小さくなる。揚圧力と相関がある礫より上方の高さでの鉛直方向の乱れ速度は常に標準偏差  $u^*$  の正規分布に従っているので、遮蔽がない場合に比べて遮蔽があると上昇時に作用する乱れ速度の平均値が大きくなり、結果的に浮上時の上昇流速の条件  $w_f > w_0$  が遮蔽の影響により  $w_f > w_0/k^2$  になる。図一6は、 $w_0=2.1\text{cm/s}$ 、 $u^*=5.1\text{cm/s}$  における生成率の鉛直分布を示している。遮蔽効果が大きい ( $k$  が小さい) と、河床砂は強い上昇流の時だけ河床を離脱し、大きな上昇流速が作用するので浮上高さの確率分布が上方にシフトしている。

##### 4.2 浮上粒子の濃度に与える影響

図一7は、 $w_0/u^*$  をパラメータとして、遮蔽係数  $k$  と河床における浮上粒子の濃度の関係を示したものである。遮蔽が大きくなると、浮上粒子の濃度は浮遊粒子の濃度に比べて小さくなる。また、 $u^*$  が粒子の沈降速度に比べて大きくなる場合でも浮上粒子の濃度は浮遊粒子の濃度に比べて小さくなり、無視できるようになる。

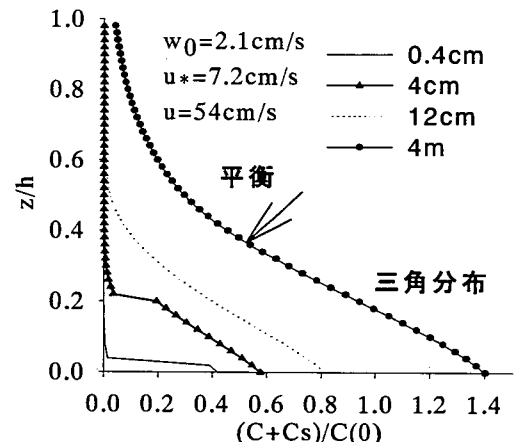
#### 5. まとめ

従来の拡散理論では、粒子の沈降速度に比べて摩擦速度が大きい場合には、浮上粒子の濃度は浮遊粒子の濃度に比べて無視できるとして取り扱ってこなかったが、2. のような方法により、浮上粒子の濃度も求めることができる。また、大きな砂礫が河床を形成している場合には、浮遊砂の生成率および浮上粒子の濃度を求めるにあたっては礫の遮蔽効果を考慮する必要があることがわかった。

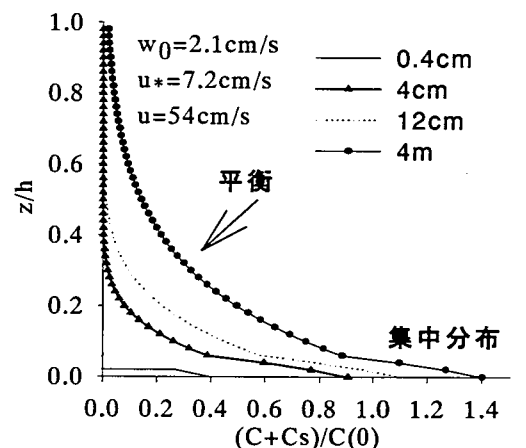
参考文献 1) 藤田ら：平成 11 年砂防学会発表会，p272~273

2) 藤田ら：平成 11 年土木学会関西支部年次学術講演会，II - 37

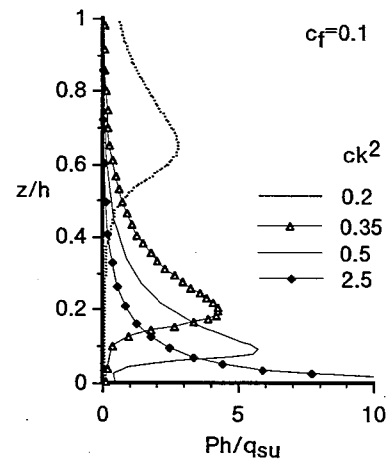
3) 藤田正治：京都大学学位論文，1986



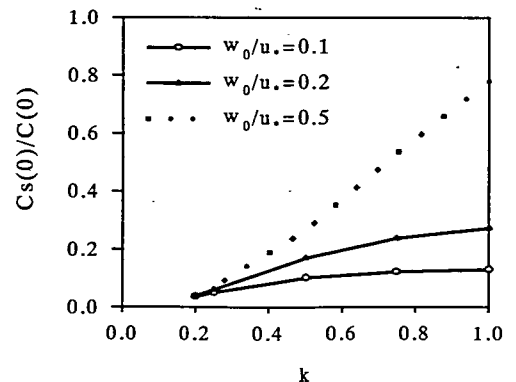
図一4 浮上粒子と浮遊粒子の濃度



図一5 浮上粒子と浮遊粒子の濃度



図一6 生成率の計算値



図一7 遮蔽係数  $k$  と  $C_s$