

II-265

粗礫河床への浮遊砂の沈み込みと非平衡浮遊砂

鳥取大学工学部 正 員 ○藤田 正治

鳥取大学工学部 正 員 道上 正規

鳥取大学工学部 学生員 北川 豊広

1. はじめに 粗礫で構成された河床上を浮遊砂が流下すると、河床に沈降した細砂が粗礫の間隙に捕捉され、条件によっては細砂が河床の下層へと沈み込んでゆく。本研究は、粗礫河床への浮遊砂の沈み込み過程やこのような場で生じる非平衡浮遊砂濃度分布について検討するものである。

2. 細砂の沈み込み過程のモデル化

図-1 (a) のような粒径 d_r の粗礫で構成された河床上に、粒径 d の細砂が単位時間、単位面積あたり q_d の割合で沈降する場合を考える。 $d_r \gg d$ のとき、細砂は容易に礫層中を落下するが、 d_r が小さい場合礫層のどこかで捕捉される。このような現象には礫層の空隙のスケール l_s と d の比が強く影響していると考えられる。そこで、 l_s を礫で囲まれた一つの空間の体積の立方根で定義し、 d/l_s によって細砂の沈み込み現象が決定されるものとする。 l_s は、礫の最密充填状態を考え、 $l_s = 0.49\sqrt[3]{\lambda} d_r \dots (1)$ とする。ここに、 λ : 粗礫層の空隙率である。図-2は、 d_r および層厚の異なる

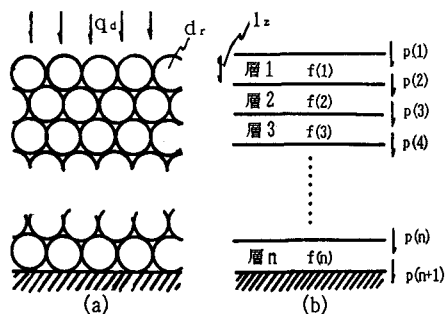
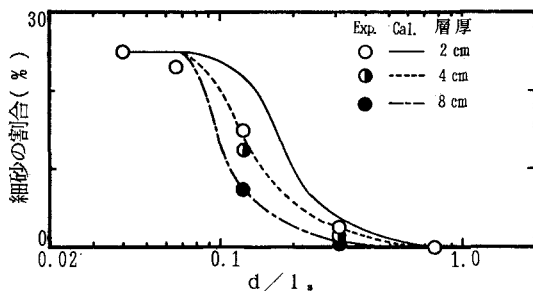


図-1 礫層のモデル

礫層の表面に粒径0.17mmの細砂を供給し、表面を細砂が覆ったときの細砂の堆積割合と d/l_s の関係を示したものである。ただし、層厚は2、4、8 cm、 $d_r = 0.6、1.6、3.7、7.2、12.2$ mmとし、水のない条件で実験した。この図より、 $d/l_s < 0.06$ では細砂は層厚に関係なく礫層の底まで落下するのに対し、 $d/l_s > 0.6$ ではほとんど沈み込まないことがわかる。また、 $0.06 < d/l_s < 0.6$ のときは細砂が上層で止まり、下層まで達していない。このような粒子の沈み込み過程を以下のようにモデル化する。まず、礫を底面から最密充填状態で敷き、同じ高さにある礫の層を1つの層とする n 層からなる礫層を考える。このとき、1層の厚さ l_z は $0.82d_r$ である。各層に含まれる細砂の割合を $f(i)$ 、 i 層の上面に到達した細砂がそこを通過する確率を $p(i)$ とすると、 $f(i)$ の変化率は式(2)のようになる。ただし、 $p(1) = 1$ 、 $p(n+1) = 0$ 、 λ_r : 細砂を含まない初期状態における礫層の空隙率である。 $p(i)$ は図-2の実験

結果を考慮して、 $d/l_s(i) > 0.6$ のとき0、 $d/l_s(i) < 0.06$ のとき1とし、その間は $p(i) = \{0.6 - d/l_s\} / 0.54$ とする。 l_s は $f(i)$ の増加にともなう礫層の空隙率の減少を考慮して式(1)から算定する。図-2に各層厚に対する計算値を示す。計算値は実験値と多少異なっているが、実験で得られた d/l_s と層厚によって細砂の堆積割合が変わる傾向を表している。

図-2 細砂の割合と d/l_s の関係

$$\frac{\Delta f(i)}{\Delta t} = \{1 - f(i)\}^2 \frac{1}{(1 - \lambda_r) l_z} q_d \cdot \left(\prod_{j=1}^i p(j) - \prod_{j=1}^{i+1} p(j) \right) \dots (2)$$

3. 礫層中の細砂の割合と浮遊砂濃度分布 水路に 礫を敷き上流から 細砂を供給したときの濃度分布と $f(i)$ の時間的、場所的変化について検討する。基礎式は式(1)、(2)と式(3) の浮遊砂の2次元拡散方程式と式(4)~(6)に示す上流端、水面および河床における境界条件からなる。 q_d は式(7)から算定する。

$$u \left(\partial C / \partial x \right) = w_o \left(\partial C / \partial z \right) + \partial \left(\varepsilon \partial C / \partial z \right) / \partial z \quad \cdots \cdots (3) \quad C(z) = C_o \quad \cdots \cdots (4)$$

$$w_o C + \varepsilon \left(\partial C / \partial z \right) = 0 \quad \cdots \cdots (5) \quad -\varepsilon \left(\partial C / \partial z \right) = q_{su}(x) \quad \cdots \cdots (6) \quad q_d = C(0)w_o - q_{su}(x) \quad \cdots \cdots (7)$$

ここに、 C : 濃度、 u : 主流方向の流速、 w_o : 浮遊砂の沈降速度、 ε : 拡散係数 ($= u^* h / 15$)、 x, z : 主流および水深方向の座標、 u^* : 摩擦速度、 h : 水深、 C_o : 上流端の平均濃度、 $q_{su}(x)$: x における河床からの細砂の浮上率である。 q_{su} は芦田らの

式¹⁾を用いる。以上のような解析方法の妥当性を検証するために次のような実験を行った。幅40cm、長さ15m、勾配1/80の水路に粒径3.7mm および12.2mmの礫を5mの厚さで敷き、流量5ℓ/sの条件で通水し、水路上流端から粒径0.17mmの細砂を毎秒 1.95 cm³ 供給した。この時、浮遊砂濃度分布と河床の細砂の割合を礫層を5層にわけて測定した。給砂点から1.5mおよび3mにおける細砂割合の鉛直分布と $d_r = 3.7$ mm の場合)

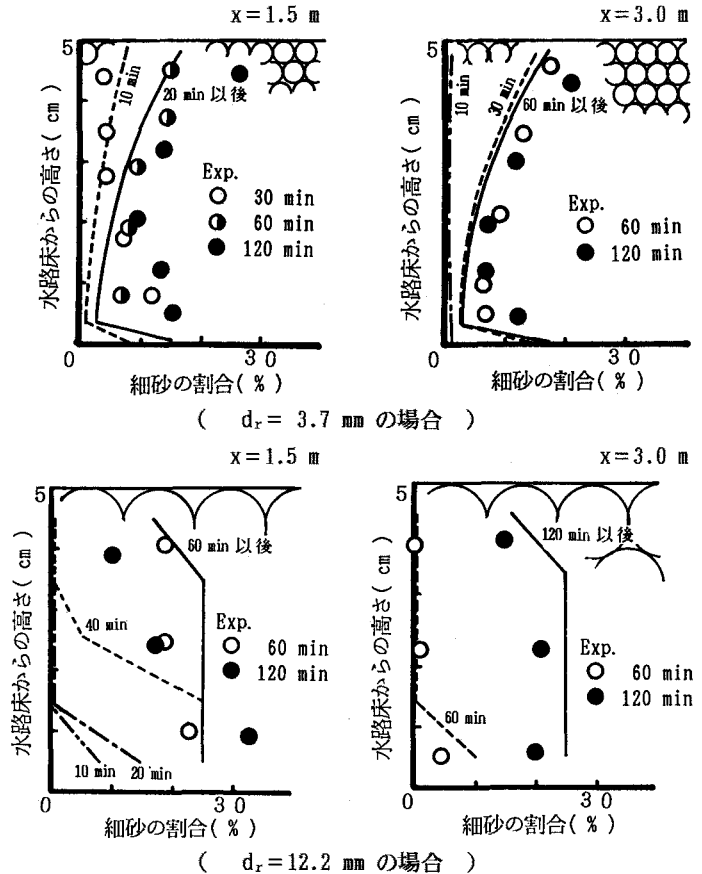


図-4 細砂の割合の鉛直分布

4. おわりに 礫や細砂の粒径を変えてもう少し広範囲の条件に対して本理論の妥当性を検証するとともに河床材料の粒度が一定でない場合への適用法を考える必要がある。

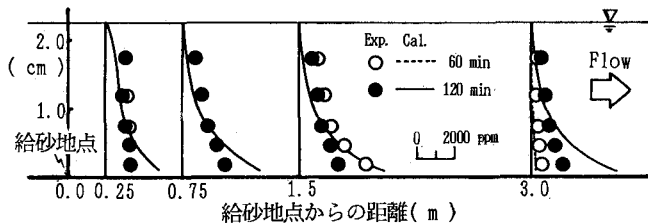


図-5 流下方向の浮遊砂濃度分布の変化

参考文献 芦田・藤田: 土木学会論文集、第375号、PP106~116、1986