

日本建設コンサルタント 正 小川義忠
京都大学 防災研究所 正 苅田和男
京都大学 防災研究所 正 江頭進治
建設省 計画局 正 金屋敦忠儀

1. まえがき ウォッシュロードのような微細工砂の主要な生産源は、従来、裸地であると考えられていたが、最近の研究においておしる河道堆積物であることが少なくないことが判明している。したがって、流域河道の任意断面における微細工砂の輸送量や流水濃度を予測するには、河道における微細工砂の生産・流出機構を考慮した計算法の確立が必要である。本研究は、このような観点から進められたものであって、ここでは、河道における微細工砂の生産・流出モデル、モデルの主要なパラメータおよびモデルの適用について考察する。

2. 微細工砂の生産・流出モデル 前報において、河道における微細工砂の流出機構として堆積物の侵食・堆積および清水と間隙水の交換機構を考へ、河道堆積物に含まれる微細工砂の含有率を P_s として、さらに P_s を侵食と同時に流出する成分 δ_1 、粗い粒子の輸送過程で剥離する成分 δ_2 および剥離しない成分 δ_3 に分割($\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 = 1$)し、河道を長方形断面で近似した場合の流出機構を図1のように示すとともに清水濃度 C に肉して次式を提示した。

$$\partial C / \partial t + Q/A \cdot \partial C / \partial x = k_1 - k_2 C \quad (1)$$

$$k_1 = [\sigma/p \cdot \delta'_1 g_s + e_s C_s] g_s + \lambda_b C_s V_{eb} + 2\lambda_s h C_s V_{es} - \{\lambda_b C_b + \sigma/p \cdot (1-\lambda_b) \delta'_1 g'_s\} B \partial g_s / \partial t \quad (2)$$

$$k_2 = (e_s g_s + \lambda_b B V_{eb} + 2\lambda_s h V_{es}) / A \quad (3)$$

ここに、添字 s, b は側岸および河床における諸量を意味し、 g_s :側岸侵食量; $\partial g_s / \partial t$:単位時間の河床変動; p, σ :清水および堆積物の密度; e :間隙比; λ :間隙率; C_s, C_b :交換層における側岸および河床の間隙水濃度; V_e :交換速度である。微細工砂の剥離による流出(図1の3)は、一般に短時間のうちに終了するので、 δ_2 は δ_1 に含めて扱うことができるため、上式では $\delta'_s = \delta_1 + \delta_2$ および $\delta'_b = \delta_1 + \delta_2$ とされている。また、河床工昇 $\partial g_s / \partial t \geq 0$ の場合は、(2)式の $\{\dots\} \partial g_s / \partial t$ の項は0である。上式は、 $C_b \ll C$ と置けばかなり単純化される。そこで、交換層における間隙水濃度 C_b について、交換層の厚さを d (d :粗粒子径)として交換層内の流れを無視した図2のモデルに基づいて検討しよう。同図を参考にして C_b に関する方程式を作ると $dC_b/dt = V_{eb}/\alpha d \cdot C - (V_{eb} + \omega_b + V_a)/\alpha d \cdot C_b$ となる。これを $\partial C_b / \partial t = 0$ の条件下で解き、 $t=0$ で $C_b=0$ とすると、

$$C_b(t) = \{1 - \exp[-(V_{eb} + \omega_b + V_a)t/\alpha d]\} V_{eb} / (V_{eb} + \omega_b + V_a) \cdot C \quad (4)$$

なる解を得る。ここに、 ω_b :微細工砂の沈降速度; V_a :吸着係数(LT⁻¹)である。後述の実験では $d_{50}=30\mu$ 程度の微細工砂が用いられているので、 $\omega_b=0.055\text{ cm/s}$, $d=0.1\text{ cm}$ (粗い成分)および $\alpha=2$ とすると(4)式の $\{\dots\}$ の値は急速に1に近づき、 $C_b = V_{eb} / (V_{eb} + \omega_b + V_a) \cdot C$ となる。 V_a に関する情報が無いので、かりに $V_a \approx \omega_b$ とし、 V_{eb} に関する図3の結果を参考にすると、一般の条件では $C_b \ll C$ となるので、(2)式において C_b は省略される。また、同様のことが C_s についても言える。したがって、 $C_b \ll C_s \ll C$ および $\partial g_s / \partial t \geq 0$ の場合、(2)式は簡略化されて、 $k_1 = \sigma/p \cdot \delta'_s g_s / A$ と表示される。つぎに、本モデルの主要なパラメータに関する実験結果を示す。

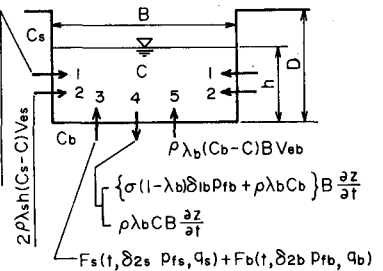


図-1. 微細工砂のフラックス

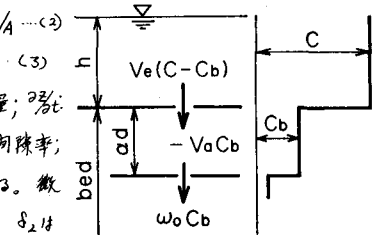


図-2. 間隙における微細工砂のフラックスと濃度分布

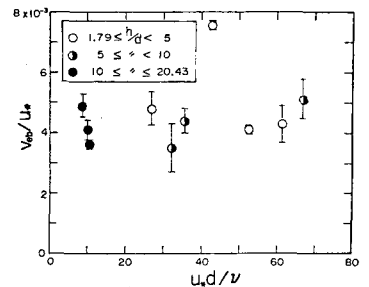


図-3. 交換速度

3. 実験結果²⁾ 図-3は、河床における交換速度に関する実験値を示したものである。λが一定の場合、 V_{eb}/U_* は u_*d/ν および h/d の関数になることが推察されるが、図より、 V_{eb}/U_* はほぼ一定であって、交換速度は摩擦速度に比例することがわかる。図-4の結果は、側方侵食を受けて河床に堆積したものに含まれる微細土砂の含有率の縦断分布を示したものである。なお、本実験における側方材料は、 $d_{50}=30\mu$ の微細土砂と $d_m=0.5mm$ の砂を混合($P_s=5\%$)して作られている。受食性区間の下流における微細成分の含有率

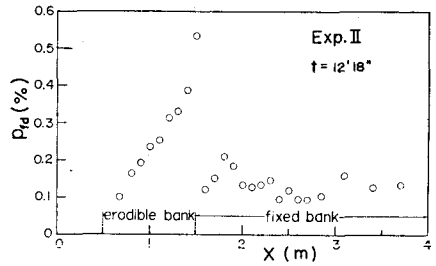


図-4. $\delta_{ss}P_s$ ($\equiv P_d$) の縦断変化

($\delta_{ss}P_s \equiv P_d$)は0.1~0.2%の範囲にあり、しかもほぼ一定である。これは、 δ_2 がなす冲刷過程が短時間で終了し、 $\delta_1 + \delta_2 = \delta_1'$ としてもよく、また、ほとんどの微細土砂が侵食と同時に流出することを意味するものである。図-5は側方侵食量に関する実験値と直線流路を対象として提案された村本³⁾および藤田⁴⁾の式を比較したものである。また、実験値は村本⁵⁾の中規模形態の領域区分図によって分類されている。図の横軸は、側方における無次元掃清力と平坦部における無次元限界掃清力 T_{*c} との比である。実験値についてみると、直線および蛇行流路のデータは現在しており、網状流路のものは、前二者のものより大きくなっている。図中の二つの侵食量式は、これらのデータの平均的な値を示しているが、図の比較からわかるように、これらの式を適用する場合、条件によっては10倍程度の推定誤差を見込まねばならない。

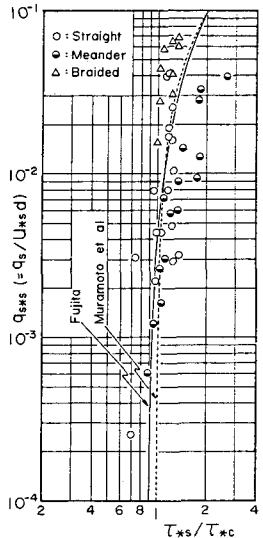


図-5. 側方侵食量

4. 生産・流出モデルの適用 図-6は、 $d_{50}=30\mu$ と $d_m=0.5mm$ の土砂の混合物($P_s=5\%$)を用いて全長4mの台形断面水路を作り、上流端より定常給水を行い水路下端で測定される微細土砂の流出量の累加と(1)~(3)式より算定される累加量とを比較したものである。計算に際して、図-4, 5より $V_{eb}/U_* = V_{es}/U_* = 4.33 \times 10^{-3}$, $\delta_{ss}' = 0.993$ とし、 δ_s には実験値が用いられている。同図より、両者の対応はよく、生産・流出モデルの妥当性が伺える。図-7は、清水濃度に対する交換現象の役割を見るため、実験規模の現象を念頭に置いて $B=112mm$, $L=0.01$, $P_s=0.06$, $P_b=0$ および $d=2cm$ の無限に長い長方形断面水路の上流端より500 cm^3/s の定常給水が行われた場合の濃度変化と、 $V_{eb}/U_* = 4.33 \times 10^{-3}$ と $V_{eb}/U_* = 0$ の場合について計算した結果である。なお、この計算では、 $\delta_{ss}'=1$, $\mu=0.03$ および側方侵食量式として村本³⁾の式が用いられている。同図より、流下距離の増加に伴い微細土砂の交換層への取り込みの影響が顕著になっていくのがわかる。

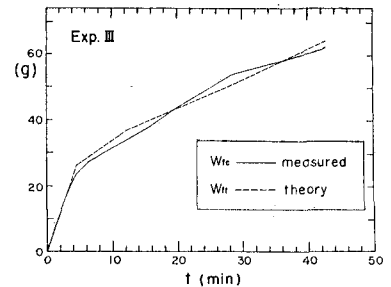


図-6. 水路下端における微細土砂の流出量に関する実験値と理論値の比較

5. あとがき 以上、河道における微細土砂の生産・流出モデル、本モデルの主要なパラメータおよび適用例について若干の検討を行った。このモデルの妥当性は厚く示されたものと認められるが、これをさらに発展させるには、一般の材料を用いたパラメータの検討を進めていく必要がある。なお、実験に関連した事項は講演時に述べる。

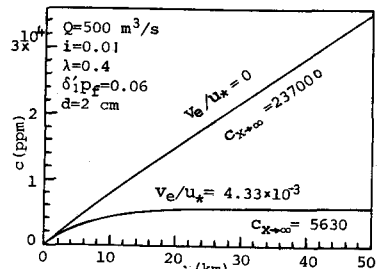


図-7. 清水濃度の縦断変化

参考文献 1) 全尾数・菅田・江頭：第24回水理講演会，1980，pp. 143~151。

2) 菅田・江頭・小川・大槻：昭和55年度関西支部講演会，1980。

3) 村本・田中・藤田：京大防災研究所年報15号B，1972，pp. 385~412。

4) 藤田：京大防災研究所年報22号B2，1977，pp. 537~552。

5) 村本・藤田：京大防災研究所年報20号B-2，1977，pp. 243~258。