

砂堆の規模に及ぼす砂の特性、水路規模の影響

立命館大学 理工学部 正員 大同 淳之

1. はしがき

小規模河床形態は、河床材料の粒径、比重および流れの水深に規定され、中規模河床形態はさらに水路幅に規定される。河床形態の規模は、水路の規模によって支配される。したがって、模型実験で水路規模を縮尺にも河床形態の規模をも相似にすることは難しく、実験の目的にしばって相似を満たす工夫をする必要がある。抵抗則の相似をはかるときは水路の規模に応じた砂堆の規模を知る必要がある。

2. 発達時の砂堆の大きさ

砂堆が完全に発達して定常に達したとき、砂堆の大きさは河床波頂部の掃流力は、頂点以上の高さに砂を堆積させず、全ての砂を掃流しつくす掃流力にあるとする。このときの掃流力は、同水深での平坦河床領域の下限を与える掃流力 τ_{*}' に等しい、とする。完全に発達した砂堆の規模は、Garde & Raju の図に従うとするとこの関係は、

$$\frac{I}{(\sigma_s/\rho)} = 0.0147 \left(\frac{h}{d} \right)^{0.532} \quad (1)$$

で表される。上の仮説に従って、この関係は河床波頂部で成立すると河床波の波高について、石川¹⁾は、

$$\frac{\Delta/L}{\left(1 - \frac{\Delta}{2h}\right)^3} \exp \left\{ \frac{K}{\left(1 - \frac{\Delta}{2h}\right)} \frac{F_1}{\sqrt{\tau_{*c}}} \right\} - 1.5 \frac{h}{d_{85}} \frac{\tau_{*c}}{F_1^2} \approx 0 \quad (2)$$

ここに、 Δ : 砂堆の波高、 L : 波長、 h : 平均水深、 $K=0.4$ 、 $F_1 = u_m / \sqrt{sgd}$ 、 τ_{*c} : 砂堆頂部の限界無次元摩擦速度としている。波長と流れを規正する水理量で式(1)、(2)を連立に解くと波高が決まる。本文では流れを規定する水理量として相当粗度を用いる。林²⁾は相当粗度 k_s/d_m はこう配が異なっても有効無次元せん断力 τ_{*} が0.02付近で k_s/d が最大になるとしている。 k_s/d が最大のときは砂堆が最大限に発達したときであろう。それぞれのこう配について、その最大の k_s/d を林の図から読み直すと、図2のように表される。

式(2)を、無次元掃流力が τ_{*}' に達しているとして書き直すと、

$$A \left(\frac{\Delta}{L} \right) \frac{\Gamma}{\left(1 - \frac{\Delta}{2h}\right)^2} \exp \{ A \Gamma \times \tau_{*}' \times 5.75 \log_{10} \{ 12.27 - \Gamma \} \} - (\beta \alpha) \Gamma \frac{I}{\{ 5.75 \log_{10} \{ 12.27 - \Gamma \} \}^2} = 0 \quad (3)$$

ここに $A = \frac{\alpha d_m}{H}$ 、 $\Gamma = \frac{H}{\alpha d_m \left(1 - \frac{\Delta}{2h}\right)}$ 、 $\alpha d_m = k_s$ 、 β は河床基準面の補正係数、 τ_{*}' は石川

による $\tau_{*}'=0.23$ とする。この値は林²⁾が $\tau_{*}'=0.2$ 付近で k_s/d が最大になるとしていることとも一致する。 τ_{*}' は次のように u_{*}/ω の形に書き直すと、次式を得る。

$$\tau_{*}' = \frac{u_{*}^2}{sgd} = \frac{I}{sg} \left(\frac{u_{*}}{\omega} \right)^2、\quad \left(\frac{u_{*}}{\omega} \right)^2 = 0.23 \frac{3sgC_D}{4} \quad (4)$$

$R_* = 10$ 付近で $C_D=4$ であるのでこれを代入すると $\omega/u_{*}=1.2$ となり、この値は粒子が浮遊し始める限界であって、上述の条件にふさわしい。式(3)より波床高さが決まると、波頂での水深 h_p は、

砂堆は三角形であるとして、次式のようになる。

$$h_p = \left(h - \frac{\Delta}{2} \right) \quad (5)$$

式(3)の妥当性を検討するため、実測値と比較する。斐伊川の Δ/L は0.075で、砂堆頂上での ω/u_* はほぼ1.2である。そこで、 $\Delta/L=0.075$ 、 $\alpha=10$ 、 $\beta=1.0$ で計算した結果、 $h/(\alpha d)=1.63$ で $1-\Delta/(2h)=1.02$ より、 $\Delta/(2h)=0.02$ となる。斐伊川の k_s/d は図3に示すとおり、その最大値はこう配が 1.0×10^{-3} であるため、ほぼ図2の予測値に近い。式(3)より求めた砂堆の高さは6cmとなり、この値は平水時の測定値に一致するが、最大値ではない。この式で、砂堆の高さを求めるためには、式中の係数をさらに検討する必要があるが、砂堆の高さを予測することはできるようである。

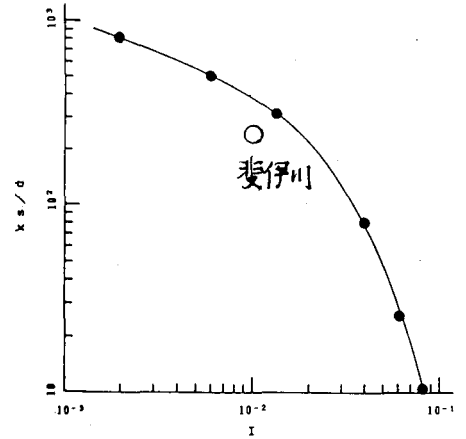
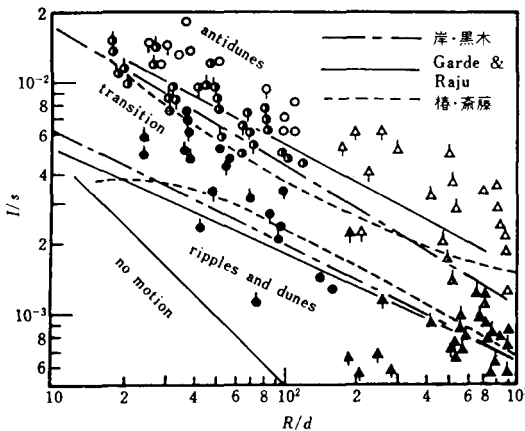


図1 Garde-Raju, 椿・斎藤, 岸・黒木の方法による河床形態の区分

図2 勾配と k_s/d の最大値との関係

3. 模型実験における摩擦係数の算定

移動床の河川の模型実験を行うとき、水路の規模に縮尺を考慮しても砂堆の規模は縮尺と、無関係に流れの条件に応じて砂堆を作る。式(3)で砂堆上の水深および砂堆高さを求め、これらから決まる摩擦係数が現地との相似を満たしていくことが必要である。水深、波高を調節するために、粒子の比重を変える以外にないといえる。

4. むすび

砂堆の高さは、砂堆頂部の摩擦速度 u_* が $\omega/u_* = 1.2$ ($\tau_*' = 0.23$)より大きくなると、砂を押し出してそれ以上砂堆が大きくならないと考え、石川の式をもとに、砂堆の大きさを求める式(3)を提案した。しかし、検討した結果、式(2)は右辺が必ずしも0でないようであり、さらに検討する必要があることを示した。模型実験を行うとき、原型を縮尺しても、砂堆の高さはその水理条件で決まり、その規模の縮尺は決定できない。したがって、実験の目的をしばってその目的のみの相似をはかる必要がある。

参考文献

- 1) 石川忠晴：河川の流砂に関する基礎的研究、東工大土木研究報告 No.25 1979
- 2) 林 泰造：沖積河川における河床形状相当砂粒粗度、第33回水理講演会論文集 1989

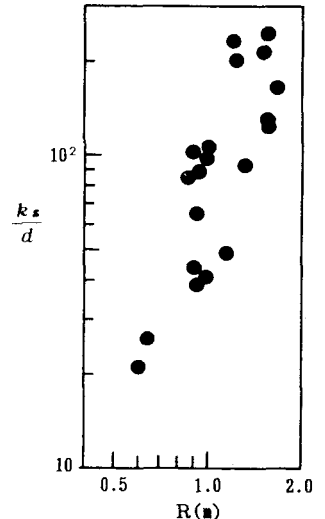


図3 斐伊川の k_s/d とRの関係