

1. はしがき 砂堆の平衡波高は砂堆上に沿うせん断力を求め、このせん断力がある値に達したとき、砂堆の発達が始まるとして求める必要がある。しかし本文はせん断力の分布は扱わず、砂堆頂部では外力と摩擦力とが釣り合い状態にあるとして、砂堆の頂部の砂が浮遊限界にあるとする。さらにこのときの流れの条件は、流れの平均的抵抗は相当粗度 k_s が最大に達した状態と仮定して、砂堆の平衡高さを求めるつもりである。

2. 砂堆の平衡高さ

石川は、砂堆頂部では圧力項と摩擦項が釣り合っているとして

$$\frac{H/L}{\left(1 - \frac{H}{2h}\right)^2} \exp\left(\frac{\kappa}{1 - \frac{H}{2h}} \frac{u_m}{u_{*1}}\right) - \frac{h}{y_0} \frac{u_{*1}^2}{u_m} = 0 \quad (1)$$

ここに、 H : 波高、 $\bar{h}$: 水深、 κ : universal const, u_m : 流れ全体の平均流速、 u_{*1} : 砂堆頂部の摩擦速度、 y_0 : 流速が0になる砂面からの高さ、である。(1)式で H 、 L 、 $\bar{h}$ または h_1 および V が未知数である。したがって、 L と流れの条件を与えると H が決まる。砂堆が発達し切ったところでは、河床形態区分図におけるduneとtransionの境界の条件が成り立つとする。この関係はGardeらによって、次のようになる。

$$I = k_s (h/d)^{2.1} \quad (2)$$

I : 勾配、 $k_s = 0.0147 \times s$ 、 $s = (\sigma/\rho - 1)$ 、 $\beta_1 = 0.532$ である。流れ全体の摩擦は相当粗度 k_s で表す。林によると、相対粗度 k_s/d はエネルギー勾配と τ_* の関数で表され、どの勾配でも $\tau_* = 0.02$ 付近で k_s が最大になる。 k_s の最大値は勾配の関数で、林の示した図2を図3のように書き直すと

$$\frac{k_s}{d} = B - k_3 I^{\beta_2} \quad (3)$$

となる。 $B = 3 \times 10^3$ 、 $k_3 = 4.6 \times 10^7$ 、 $\beta_2 = 0.085$ である。(1)式に式(2)、(3)を代入すると

$$\frac{H}{L} = k_4 \frac{h}{d} \frac{\left(1 - \frac{H}{2h}\right)^2}{\left\{5.75 \log \frac{A}{(B - k_3 I^{\beta_2})} \left(\frac{k_2}{I}\right)^{\alpha_1}\right\}^2 \times \exp \frac{\kappa}{\sqrt{1 - \frac{H}{2h}}} \left[5.75 \log_{10} \left\{\frac{A}{(B - k_3 I^{\beta_2})} \left(\frac{k_2}{I}\right)^{\alpha_1}\right\}\right]} \quad (4)$$

右辺第1項の k_4 は $y_0 = d_{es}/k_4$ を満たす定数である。式(4)は H について陽の形になっていないので、繰り返し計算で求める必要がある。斐伊川の実測値では k_4 を 7.5 ($k_s = 4 d_{es}$) としたとき、実測値と一致することを見いだした。斐伊川のは $H/L = 0.075$ 、砂堆頂上での w/u_{*1} は約1.2である。石川は砂堆頂上の $\tau_* = 0.23$ としている。この値は林が $\tau_* = 0.2$ で k_s/d が最大になるとしていることとも一致する。

$$\tau_* = \frac{1}{s g} \left(\frac{u_*}{w}\right)^2, \left(\frac{u_*}{w}\right)^2 = 0.23 \frac{3 s g C_D}{4} \quad (5)$$

より $C_D = 4$ とすると、 $\frac{w}{u_*} = 1.2$ となり、これは従来より砂粒子が浮遊し始める限界と一致する。

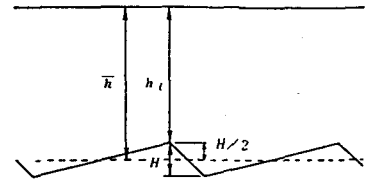


図1 砂堆モデル

3. 軽比重砂の実験値への適用

山本らのデータに式(4)の適用を試みる。図5は水中比重 s が0.38および0.39の粒子の領域区分図で、 s が小さくても $s=1.65$ のデータと一致することを示す。式(4)は

$$H/L = k_s \bar{h} / d f(I, h) \quad (6)$$

$f(I, h)$ は式(4)の残余の項と書き直すと H/L と $\bar{h}/d$ の図上の勾配が $k_s f(I, h)$ となる。図6は $s=0.31$ のケースを示す。傾向は合っているが、係数についてはさらに詳細に区別する必要がある。図5は

エネルギー勾配別番号

勾配別番号	エネルギー勾配	勾配別番号	エネルギー勾配
1	$1 \times 10^{-4} < S < 4 \times 10^{-4}$	4	$2.0 \times 10^{-3} < S < 3.0 \times 10^{-3}$
2	$4 \times 10^{-4} < S < 9 \times 10^{-4}$	5	$3.0 \times 10^{-3} < S < 5.3 \times 10^{-3}$
3a	$9 \times 10^{-4} < S < 1.4 \times 10^{-3}$	6	$5.3 \times 10^{-3} < S < 7.3 \times 10^{-3}$
3b	$1.4 \times 10^{-3} < S < 2.0 \times 10^{-3}$	7	$7.3 \times 10^{-3} < S < 9.3 \times 10^{-3}$

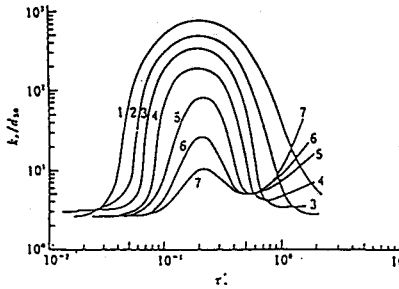


図2 エネルギー勾配毎の k_s/d と τ の関係

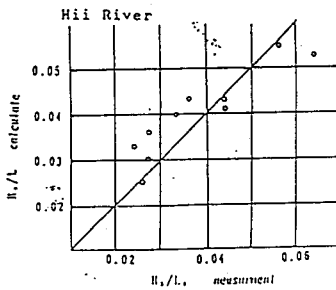


図4 斐伊川の砂堆に対する計算と実測との比較

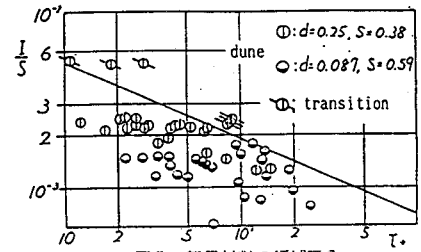


図5 軽量材料の領域区分

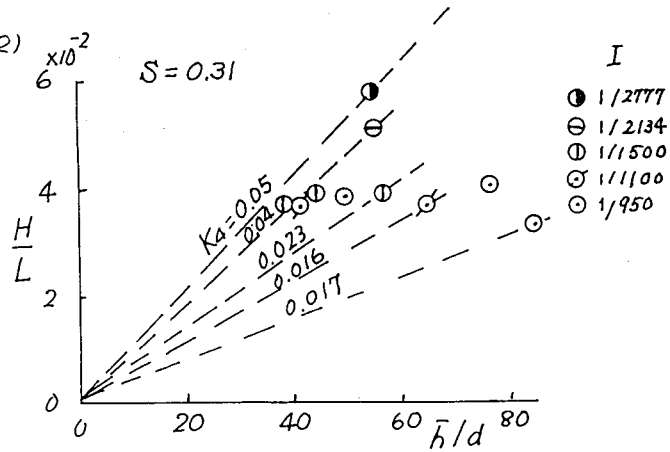


図6 軽量材料の H/L と相対水深との関係

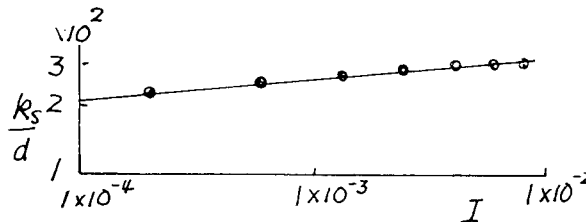


図3 $\tau=0.2$ における勾配と k/d の関係