

交互砂州の形成過程

京都大学防災研究所 正員 村本嘉雄 正員 藤田裕一郎

北海道開発局 正員 小池 剛

1. まえがき 交互砂州の形成過程に関して表-1に示す条件で実験を行い、砂州の波長・波高の発達機構について検討した結果に基づいて波長の発達モデルと平衡波高の推定式について述べる。

表-1 実験条件

Run No	Q (l/s)	I (cm)	B (mm)	d (mm)
H-1	1.90	1/100	50	0.99
H-2	4.02	1/200	50	0.99
H-3	5.60	1/100	50	0.99

2. 砂州の波長の発達過程 実験では発達過程での形状特性の測定とともにPTR, 16mmカメラにより河床面の詳細な観察を行った。この観察から、通水直後に河床に発生する斜めに交錯した「ひし形模様」は、砂州発生の最初の引きになる可能性はあるが、その持続時間が非常に短いので水路全体にわたる砂州の形成過程には重要な役割を担えないように思われる。すなわち、図-1に示したRun H-2の河床面の変化のように1つのある程度発達した砂州の下流にはその砂州による流況の偏りが原因となって明確な砂州が形成され順次下流へ伝わり、いくようである。

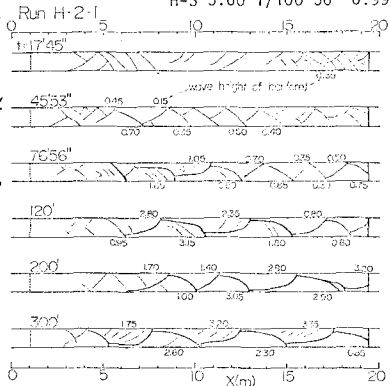


図-1 砂州の形成過程 (Run H-2)

この伝播機構を模式化して図-2に示す。上流側の(砂州)₀の波高 Z_{00} は下流側の(砂州)₁の波高 Z_{01} に比べて大きく、逆に移動速度は(砂州)₁の方が大きくなり、この移動速度差によって砂州の波長 l_b は増大すると考えられる。すなわち、 $dl_b/dt = U_1 - U_0 = (q_b/(1-\alpha))(1/Z_{01} - 1/Z_{00})$ (1:空隙率) (1) ここで波高の発達機構と流況に関する既報の結果に基づいて、発生初期の波高の発達が図-2のような土砂移動によって生じると考え、発生初期では砂粒の運動方向と流向 $\tan\beta$ とが一致するとみなすと、

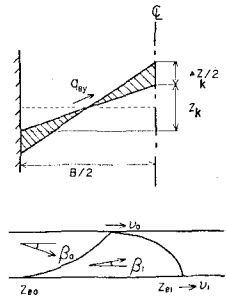


図-2 砂州形成初期の模式図

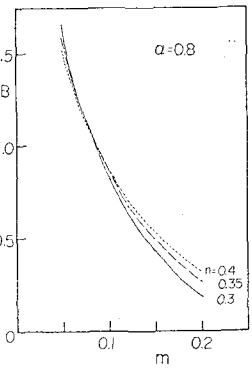
$dZ_k/dt = (l_b/B)q_{by} = (l_b/B)q_{b0}\tan\beta$ (2) ここに Z_k : 蒲鉾型横断形状の高さ(= $Z_0/2$), q_{by} : 横方向流砂量(= $q_{b0}\tan\beta$)。流向 $\tan\beta$ は段下のほうが段上より小さいので、 $\tan\beta_0 = 0.15(Z_{00}/Z_h)$, $\tan\beta_1 = 0.15\alpha(Z_{00}/Z_h)$ (3) ここに $\alpha < 1$ 。(2)(3)式より $t=0$ の Z_0 を $Z_{00}=nh$, $Z_{01}=mh$ とすると、

$$Z_{00} = nh\alpha p(2.4q_{bt}/Bh), Z_{01} = \alpha nh\{\alpha p(2.4q_{bt}/Bh) - 1\} + mh \quad (4)$$

$Z_{01}=nh$ になると(砂州)₁の下流に新たに(砂州)₂が発生すると考えると(4)式より砂州の発生時間間隔 t_{s1} は、 $t_{s1} = (Bh/2.4q_{bt}) \cdot \ln\left(\frac{n-m}{\alpha n}\right) + 1$ (5) となる。(4)式によつて Z_{00} と Z_{01} の時間変化が求まると l_b は(1)式に(4)式を代入して $t=0 \sim t_{s1}$ での l_b の増加量 Δl_b を求めると次式のようになる。

$$l_b/B = \frac{1}{2.4(m-\alpha n)} \left\{ \ln\left(\frac{m-n}{\alpha n}\right) + 1 - \ln\left(\frac{n}{m}\right) \right\} + \frac{m-n}{2.4n(n-m+\alpha n)} \quad (6)$$

となり、 α は実験より $\alpha=0.8$ として m, n による l_b の変化を図-3に示す。Yoshio MURAMOTO, Yuuichiro FUJITA, Tsuyoshi KOIKE



示す。 $t=0$ で $l_b=B$ 、実験値より $n=0.35, m=0.05$ とすると $t=t_0$ で $l_b/B=2.86$ となり実験値の $l_b/B=約3$ に大体一致し、その適用範囲の検討は残されているが、このようなモデルで波長の発達を把握できると思われる。

3. 平衡波高の推定式：平衡波高については既報²⁾に定性的に述べたが、今回はさらに考察を進めて定量的な検討を行った。図-4に示すように波高の発達時には、側岸近くで流量集中により、荒掘された土砂が砂州の段下で発散する流れにより、下流の砂州の前縁に堆積して砂州の前進や発達に用いられるが、これを直角型横断形状についてみると、左側岸近くの斜線部の土砂が右側の斜線部に移動して台形の上底部を拡げるのに用いられると考えられる。この台形の上底部の平均河床高からの高さは実験値によるとあまり変わらないので、土砂の連続式より図の台形の肩の部分の三角形の面積は一定であることからその変化を図中の記号を用いて、 $\frac{B}{2} Z_{ko} = Bt \cdot Z_{ke}$ (7)

Z_{ko}, Z_{ke} と波高 Z_b, Z_{be} との関係は実験値より、 $Z_{ko} = Z_b/3, Z_{ke} = Z_{be}/2$ (8)

また Z_b/d について検討した結果では、 $Z_b/d = 0.15 (B/d)^{2/3}$ (9)

(7)~(9)式より直角型形状の斜面勾配 $\tan\theta$ は、 $\tan\theta = Z_{ke}/B_0 = 10 \left(\frac{Z_{be}}{B} \right)^2 \left(\frac{B}{d} \right)^{1/3}$ (10)

一方、図-5を参考に斜面上の砂粒の運動方程式は、

$$\left. \begin{aligned} D \cos \delta - F \cos \delta + W \sin \delta &= 0 \\ D \sin \delta - F \sin \delta + (W \cos \delta - J) \sin \theta &= 0 \\ D &= (\epsilon C_d / 2) \rho \{ (U_d - U_g)^2 + (V_d - V_g)^2 \} \alpha \cdot \pi d^2 \\ \tan \delta &= (U_d - V_g) / (U_d - U_g), \tan \delta = V_g / U_g \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

ここに、 U_g, V_g は砂粒の流下方向、横方向速度。 U_d, V_d は流下方向、横方向流速。 $F = \frac{1}{2} \rho (W \cos \delta - J) \cos \theta, W = 0.9 \alpha \cdot \pi d^3, J = \rho g \alpha \cdot \pi d^3$ 。平衡状態では砂粒の運動方向 $\tan \delta = 0$ であり、また砂粒の移動速度は流速に比べて小さいので無視すると抗力の方向 $\tan \delta = \tan \beta$ となり(11)式は、 $\tan \delta = \tan \beta = \frac{1}{\sqrt{k}} \cdot \tan \theta$ (12)

(3)式を別に検討した結果から $\tan \beta = 0.17 (l_b/B) (Z_b/h)$ (13)

(12)式に(10)・(13)式を代入して $l_b/B = 4, k = 0.67$ とすると

$$Z_{be}/B = 0.0051 (B/h)^{2/3} (h/d)^{-1/3} \quad (14)$$

(14)式を実験値で検討すると図-6のようになり、実験値は(14)式の結果より上に分布しているがこれは砂粒の移動速度を無視したためと思われる。また複列砂州はモードの変化が、水路幅 B に反映していないために一致しないものと考えられる。

4. あとがき：今後、 l_b については Z_b の発達過程をさらに明確にすることで、 Z_{be} については砂粒の移動速度の影響を考慮することにより実際の形状に近い検討を行って予測の精度を高めていくつもりである。

《参考文献》

1) 藤田・村本・堀池；土木学会第34回年講，1974

2) 村本・藤田・堀池・小池；土木学会関西支部年講，1979

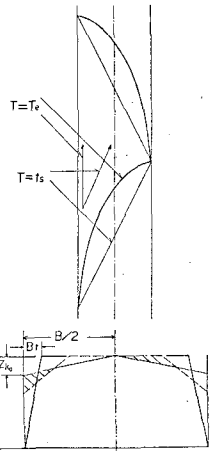


図-4 波高の発達モデル

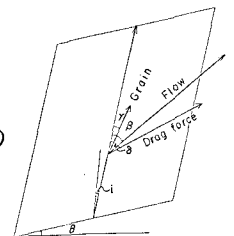


図-5 砂粒運動の説明図

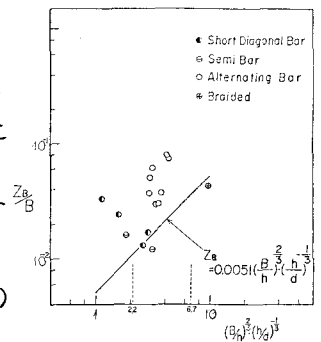


図-6 Z_{be}/B と $(B/h)^{2/3} (h/d)^{-1/3}$ の関係