

II-263 交互砂州の波高の決定機構について

京都大学防災研究所 正員 藤田裕一郎
 京都大学防災研究所 正員 村本嘉雄
 北海道開発局 正員 小池 剛

1. はしがき : 交互砂州によって洪水時の流況が支配されることは良く知られており、この流況の特性—蛇行の強さ—が砂州の波高に最も影響されることはすでに明らかにしてきた¹⁾。本文では、この波高の決定機構についてこれまで行ってきた交互砂州の発達過程の研究で得られた知見に基づいて考察を加える。

2. 交互砂州の平衡波高の考え方 : 交互砂州は、図-1に示すように、主にS域が洗掘を受けて低下し、洗掘された土砂がD域に堆積して前線が横方向に張出して発達し、波高の増加とともに平均河床横断形状が蕭錐型になって、この蕭錐型横断形状が発達の履歴となる。この過程を発達初期では三角形、その後を台形近似した蕭錐型平均横断形状でみれば図-2のようである。Aで洗掘された土砂がBに堆積し、それが減少して最終形状に到達する。一方、このような横断方向の土砂移動をもたらす横断方向流速成分は、砂州の形成に伴って現われ波高の増加とともに増大するので、この流体力に何らかの抑制力が働かなければ、横断方向流速の増大によって波高は加速度的に増加することになる。しかし、実際には波高はある一定値以上にはならないので、流体力に他の力、すなわち砂州の発達によって生じたSからDに向う斜面こう配による重力の横断方向成分、がつり合って横断方向の土砂移動が消滅するものと思われる。これからこのような斜面において流体力と重力とがバランスした段階で交互砂州は平衡波高を持つようになると考え、つぎにこれを力学的に考察する。

3. 平衡波高の決定機構 : 交互砂州特有の流況が明確になり始めた時点(発達の第1段階の終了時)の波高を Z_{be} 、そのときの蕭錐型形状の高さを Z_k 、同様に平衡時を Z_{be} 、 Z_k' とすると、これまでの検討から $Z_{be} = \alpha_k' Z_k' (\alpha_k' \approx 3)$ — ① $Z_{be} = \alpha_k Z_k (\alpha_k \approx 2)$ — ② とおける。

また、斜面のこう配 $\tan \theta$ は平均的に蕭錐型形状の斜面こう配に等しいと思われるので、河床中央部の高さがあまり変化しなかつた実験事実を用いて、土砂の連続関係から $\tan \theta = Z_k / Bt = 2 Z_k^2 / Z_k' B$ — ③

Z_{be} は、波長 l_b 、波高 Z_b の発達過程において $l_b / l_{be} = 0.6$ となったときの波高とすると、図-3のようにつぎの関係が導かれる。

$$Z_{be} / d = \beta_d (B / d)^{2/3}, (\beta_d \approx 0.15) \quad \text{--- ④}$$

つぎに、平均的な流向 $\tan \beta$ と砂州の形状との関係は、斜め段落ち流れの検討結果に他の砂州の資料も加え、段落ち高 $D = Z_b / 2$ として、図-4から次式で表される。

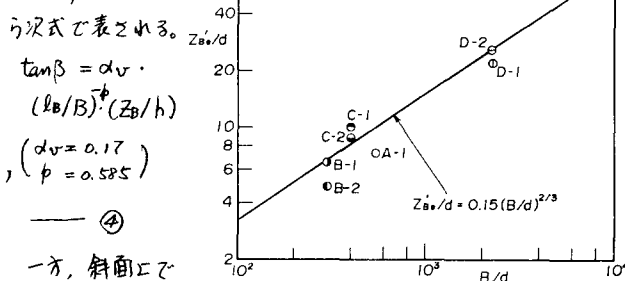


図-3 交互砂州の初期波高の検討



図-1 砂州の発達状況

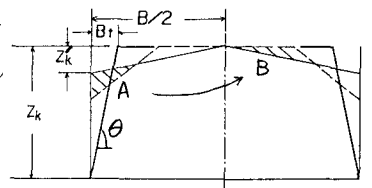


図-2 平均横断形状における砂州の発達

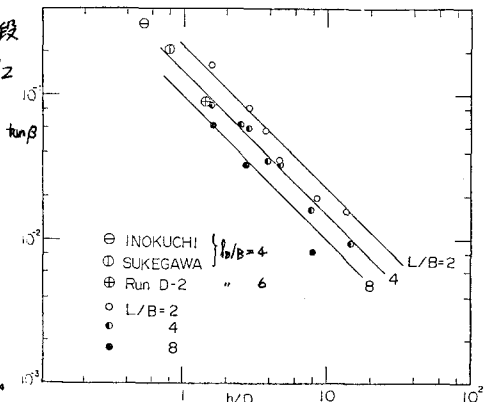


図-4 砂州による平均流向の変化

粒運動の基礎式は、図-5を参照し、流下方向こう配を無視すると、次式となる。

$$\left. \begin{aligned} D \cos \delta - F \cos \gamma &= 0 \\ D \sin \delta - F \sin \gamma + (W - J) \sin \theta &= 0 \\ \tan \delta &= (V_d - V_g) / (U_d - U_g) \\ \tan \gamma &= V_g / U_g \\ D &= (\epsilon C_0 / 2) \rho \{ (U_d - U_g)^2 + (V_d - V_g)^2 \} \alpha_1 \pi d^2 \end{aligned} \right\} \quad (6) \quad \begin{aligned} F &= \mu L, \\ F &= \mu (W - J) \cos \theta \\ W &= \sigma g \alpha_2 \pi d^3 \\ J &= \rho g \alpha_2 \pi d^3 \end{aligned}$$

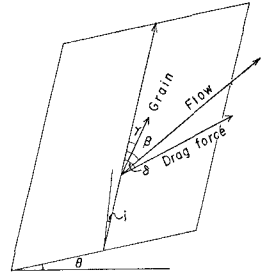


図-5 斜面上の砂粒運動と抵抗力

こゝに、 U_g, V_g は砂粒の流下方向、横断方向速度、 U_d, V_d は流下方向、横断方向流速であつて、他は慣用に従っている。ここで、横断方向に土砂移動の無い条件は $V_g = 0$ あるいは $\tan \gamma = 0$ であるので、このとき⑥式は無次元化さ

れつぎのようになる。

$$\left. \begin{aligned} T_r \{ (1 - U_g)^2 + V_d'^2 \} \cos \delta &= \mu_k \cos \theta & (7) \\ T_r \{ (1 - U_g)^2 + V_d'^2 \} \sin \delta &= \sin \theta & (8) \\ \tan \delta &= V_d' / (1 - U_g) & (9) \end{aligned} \right\} \quad \begin{aligned} T_r &= \frac{\tan \theta (C_E k / C_c) (T_r / T_c)}{1 + k c \tan \phi} \left(\frac{T_r}{T_c} \right) \\ &= 0.67 (T_r / T_c) \\ U_g' &= U_g / U_d \quad (\text{式 } 3) \\ V_d' &= V_d / U_d \div \tan \theta \end{aligned}$$

$$\textcircled{7} \sim \textcircled{9} \text{を用いると} \quad V_d' / (1 - U_g') = \tan \theta / \mu_k \quad \textcircled{10}$$

⑩式に③～⑤式を代入整理すると下式が得られる。

$$\frac{Z_B}{B} = \frac{\alpha_k^2 \alpha_r \beta \alpha_d}{2 \alpha_k} \left(\frac{L_B}{B} \right)^{-\frac{1}{3}} \frac{\mu_k}{1 - U_g'} \left\{ \left(\frac{B}{h} \right)^{\frac{1}{3}} / \left(\frac{h}{d} \right)^{\frac{1}{3}} \right\}^{\frac{1}{3}} \left(\frac{0.005 / \left\{ \left(\frac{B}{h} \right)^{\frac{1}{3}} / \left(\frac{h}{d} \right)^{\frac{1}{3}} \right\}}{1 - U_g'} \right)^{\frac{1}{3}} \quad \textcircled{11}$$

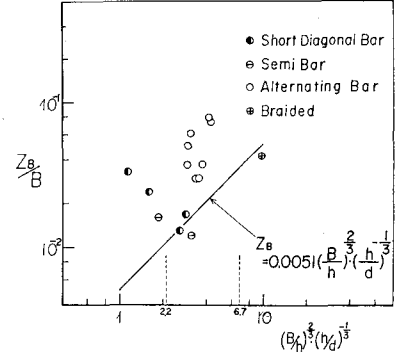


図-6 砂州の平衡波高に関する検討

4. 検討と考察。⑪式では、 Z_B/B が B/h の増加とともに増加し、 h/d の増加によってやや減することから示されているが、これは準砂州から交互砂州へ波高が増加していくことや、形状特性の検討とも一致している。図-6はこの関係を実験値で検討したものであつて、実験値は U_g が0でないことを反映して⑪式に沿って変化している。また複列砂州の値が減少しているのは蛇行モードが変化しているためと考えられ、これは⑪式の $\{ \}$ 内か中現像河床形態の形成条件を表すパラメーターの逆数となっていることとも対応している。

砂粒運動を考慮する場合は、⑦、⑧に⑩式を代入して $(1 - U_g')$ を消去し、 V_d' も⑤、③式によって除いた $\tan \theta$ のみの次式の収束計算が良し。

$$\tan^2 \theta + (1 + 3 \mu_k^2) \tan^4 \theta + 3 \mu_k^2 (1 + \mu_k^2) \tan^6 \theta + \mu_k^4 \left[3 + \mu_k^2 - \frac{2 \alpha_k^2 \alpha_r \beta \alpha_d}{T_r \alpha_c^2} \left(\frac{B}{h} \right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{h}{d} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \tan^2 \theta + \mu_k^4 = 0 \quad \textcircled{12}$$

図-7はその計算結果の1例であつて、 $T_r/T_c > 20$ ではおそらく砂州はフラッシュしてしまうので掃流力による変化は倍程度と思われる。さらに、⑫式では第4項 $[\]$ 内の要号の項の絶対値が小さくなると実根を持ちえなくなり、平衡状態が存在しなくなるようである。

さて、実際の砂州では平衡波高に近付くと河床中央の高い部分が図-8のように連続し、前縁が分裂するとともに流況も蛇行状から両側壁沿いに2分された形に移る。その結果、斜面こう配が維持されなくなり、波高は減少し河床も平坦化するが、ある程度平坦化が進むと再び前縁形状が整って波高は発達していくと思われ、長時間では、波高は周期的な増減を繰返すものと考えられる。したがって、本文で述べた機構は、波高の変化過程における極大値の決定機構を取扱ったことになる。このような取り扱いでも砂州の波高の予測はかなり可能と思われる。

<参考文献> 1) 藤田：才24回水誌、1980、2) 藤田・村本・塚池：才34回年講、1979、3) 藤田：京大防災研年報、才22号B-2、1979、4) 村本・藤田：才22回水誌、1978

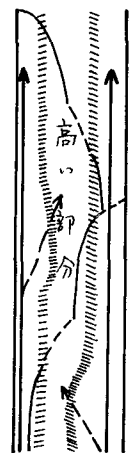


図-8 前縁の分裂と流況の模式図