

京大防災研 正員 芦田和男 京大防災研 正員 村本嘉雄
京大大学院 学生員 〇田中修市

側岸侵食性水路における砂礫堆は、流路の拡幅現象にともなう、その形態を変じていき、ついには流路の蛇曲をうながすようになる。本研究では、側岸侵食による砂礫堆の変動特性ならびに蛇曲流路の発達と砂礫堆との関係について検討するとともに、砂礫堆の波長、高さ、流路幅、移動速度などの特性量を側岸固定水路の実験結果と比較する。また、側岸侵食がある場合の砂礫堆の発生条件について検討する。

1. 砂礫堆の性状と蛇曲の進行 ; 砂礫堆特性量の平均値、変化幅を図-1に示す。初期の一樣拡幅状態における移動速度の減少が顕著であり、その後波長の伸びに従って移動速度も減少するが、その変化はゆるくなる。蛇曲が明らかになると波長の伸びが止まり、移動速度は一層遅くなる。この間、流路幅と砂礫堆高さは増大していく。流路幅は蛇曲開始とともに変化幅が大きくなっていくが、蛇曲頂点と遷移点を表わすものである。側岸侵食が進むにつれて砂礫堆は初期の直線的な前縁から、先端が丸く張り出した前縁をもつようになり、側岸に水衝部をつくる。移動速度が減少すると水衝部に働く作用時間が長くなり、局所侵食が起り、蛇曲が始まる。砂礫堆は側岸の後退にともなう横断方向に張り出し、奇州状になり、移動砂礫堆と果す性状を呈するようになる。しかし、図-2の走時曲線に示されるように、砂礫堆の横断方向の変形より流下方向への移動速度が大きいと、砂礫堆は流下して、局所侵食は止まり、蛇行位相の反転を生ずる場合もある。

2. 側岸固定水路の砂礫堆との比較 ; 側岸侵食性水路における砂礫堆の波長は、流路蛇曲が生じた時点において、その蛇行波長とはほぼ等しくなる。そこで蛇行波長に側岸固定水路の砂礫堆波長を対応させて、流量との関係を見ると図-3のようになる。蛇行波長は従来提唱されている関係式の若干上側にプロットされ、砂礫堆の波長は幾分低い値を示している。図-4は砂礫堆の波長と移動速度の関係を示したもので、初期において側岸固定の場合と同様に波長が長くなると移動速度が減少する傾向がうかがえる。本実験の場合は、側岸固定の場合より移動速度がかなり大きくプロットされている。これは側岸侵食による給砂

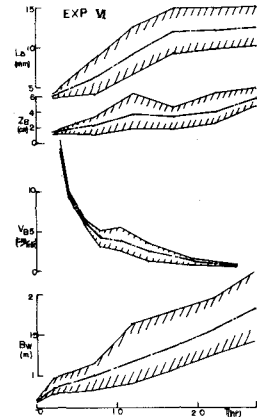


図-1 特性量の時間変化

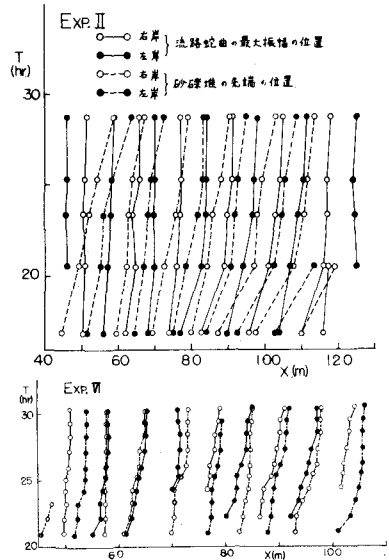


図-2 走時曲線

によって砂礫堆の移動が促進されることを示している。
また、蛇曲南側後は移動速度が急激に減少する傾向にある。

3. 砂礫堆の発生条件；側岸侵食に伴う河床変動の基礎式はつぎのようになる。¹⁾

$$\begin{cases} B \frac{\partial z}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \frac{\partial Q_0}{\partial x} = g_s \dots (1) & \frac{\partial B}{\partial t} = \frac{1-\lambda}{1-\lambda_b} \frac{1}{D-z} g_s \dots (2) \\ Q_B = B g_B = M B U_* (U_*^2 - U_{*c}^2)^m, \quad M = M_1 \left\{ \left(\frac{F}{F_0} \right) - 1 \right\} g \frac{1-m}{D} \dots (3) \\ g_s = \frac{1-\lambda_b}{1-\lambda} N U_* (U_*^2 - U_{*c}^2)^n, \quad N = N_1 \left\{ \left(\frac{F}{F_0} \right) - 1 \right\} g \frac{1-n}{D} \dots (4) \\ \frac{U_*^2}{g h} = I_0 - \frac{\partial z}{\partial x} - (1 - \frac{\beta U_*^2}{g h}) \frac{\partial h}{\partial x} + \beta \frac{U_*^2}{g B} \frac{\partial B}{\partial x} - \frac{1}{g B h} \frac{\partial Q}{\partial t} + 2 \beta \frac{Q}{g A} \frac{\partial (B h)}{\partial t} \dots (5) \\ \frac{\partial (B h)}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \dots (6) & U_* = C \frac{Q}{B h} \dots (7) \end{cases}$$

等流状態からの摂動を考慮して、 $B = B_0 + B'$, $h = h_0 + h'$ etc. を代入し、線型化する。また水平スケールとして、 B_0 , 鉛直スケールに h_0 をとり

$$\frac{B'}{B_0} = \tilde{B}, \quad \frac{h'}{h_0} = \tilde{h} \text{ etc. } \quad \frac{x}{B_0} = \xi, \quad \frac{Q_0}{(1-\lambda) B_0^2 h_0} t = \tau$$

のような無次元変数で上の各式を表わし、整理すると

$$\begin{cases} I_0 (2\tilde{U}_* - \tilde{h}) = -\frac{h_0}{B_0} \frac{\partial \tilde{z}}{\partial \xi} - C_0 F_0^2 \frac{h_0}{B_0} \frac{\partial \tilde{Q}}{\partial \tau} + \frac{2\beta}{g} C_0 F_0^2 \frac{h_0}{B_0} \left(\frac{\partial \tilde{h}}{\partial \tau} + \frac{\partial \tilde{B}}{\partial \tau} \right) \\ \quad - (1 - \beta F_0^2) \frac{h_0}{B_0} \frac{\partial \tilde{h}}{\partial \xi} + \beta F_0^2 \frac{h_0}{B_0} \frac{\partial \tilde{B}}{\partial \xi} \dots (8) \\ \frac{\partial \tilde{z}}{\partial \tau} + \frac{\partial \tilde{B}}{\partial \xi} + (m)_0 \frac{\partial \tilde{U}_*}{\partial \xi} = S_0 (m)_0 \tilde{U}_* \dots (9), \quad \tilde{U}_* = \tilde{Q} - \tilde{B} - \tilde{h} \dots (10) \\ \frac{\partial \tilde{B}}{\partial \tau} = \frac{1-\lambda}{1-\lambda_b} S_0 (\tilde{z} + (m)_0 \tilde{U}_*) \dots (11), \quad C_0 \left(\frac{\partial \tilde{h}}{\partial \tau} + \frac{\partial \tilde{B}}{\partial \tau} \right) + \frac{\partial \tilde{Q}}{\partial \xi} = 0 \dots (12) \end{cases}$$

となる。但し、 $C_0 = \frac{1}{1-\lambda} \frac{Q_0}{B_0^2 h_0}$, $S_0 = \frac{(1-\lambda) B_0}{Q_0}$, $F_0^2 = \frac{U_*^2}{g h_0}$

$$(m)_0 = 2m + 1 + 2m (U_{*c}/U_*)^2 / \{1 - (U_{*c}/U_*)^2\},$$

$$(n)_0 = 2n + 1 + 2n (U_{*c}/U_*)^2 / \{1 - (U_{*c}/U_*)^2\} \quad \text{である。}$$

上式より $\tilde{U}_*$, $\tilde{Q}$, $\tilde{z}$ を消去するとつぎのようになる。

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 \tilde{B}}{\partial \tau^2 \partial \xi} + \frac{1-\lambda}{1-\lambda_b} S_0 \left[\frac{\partial^2 \tilde{B}}{\partial \xi^2} - \{ (m)_0 \frac{\partial}{\partial \xi} + (n)_0 \frac{\partial}{\partial \tau} - S_0 (m)_0 \} \left(C_0 \frac{\partial}{\partial \tau} + \frac{\partial}{\partial \xi} \right) (\tilde{h} + \tilde{B}) \right] = 0 \dots (13) \\ \frac{\partial^2 \tilde{B}}{\partial \xi^2} - \left[\{ (m)_0 \frac{\partial}{\partial \xi} - S_0 (m)_0 \frac{\partial}{\partial \xi} - 2 I_0 \frac{B_0}{h_0} \frac{\partial}{\partial \tau} \} \left(C_0 \frac{\partial}{\partial \tau} + \frac{\partial}{\partial \xi} \right) \right. \\ \quad \left. - F_0^2 \left\{ C_0 \frac{\partial^2}{\partial \tau^2} + 2\beta C_0 \frac{\partial^2}{\partial \tau \partial \xi} + \beta \frac{\partial^2}{\partial \tau \partial \xi} \right\} \right] (\tilde{h} + \tilde{B}) - \left(\frac{\partial^2}{\partial \tau^2} - I_0 \frac{B_0}{h_0} \frac{\partial^2}{\partial \tau \partial \xi} \right) \tilde{h} = 0 \dots (14) \end{cases}$$

$Q_0 \gg Q_{B0}$ だから C_0 を含む項を無視する。また、給砂の影
響を考慮し、すなわち (14) 式で $\tilde{B} = 0$ とした式において、 $\tilde{h} =$
 $\phi \exp(r_1 \tau + i k \xi)$, $r = r_1 + i r_2$ を代入して、安定性を検討する。

$$\text{増幅率; } r_1 = -\{3(m)_0 I_0 \frac{B_0}{h_0} + (\beta F_0^2 - 1) S_0 (m)_0\} \frac{k^2}{P_0} \dots (15), \quad \text{伝播速度; } C = -\frac{r_2}{k} = \{ (m)_0 (1 - \beta F_0^2) k^2 + 3 I_0 \frac{B_0}{h_0} S_0 (m)_0 \} \frac{1}{P_0} \dots (16)$$

== には、 $P_0 = 9(I_0 \frac{B_0}{h_0})^2 + (\beta F_0^2 - 1)^2 k^2$ である。側岸から給砂のない場合 ($S_0 = 0$) は、 $r_1 < 0$ で安定、また
 $F_0 \leq 1/\beta$ のとき、 $C \geq 0$ となることは周知のことである。 $S_0 \neq 0$ の場合、

$$r_1 \geq 0; \quad F_0^2 \leq \frac{1}{\beta} (1 - 3 \frac{(m)_0}{(n)_0} I_0 \frac{B_0}{h_0} \frac{1}{S_0}), \quad C \geq 0; \quad F_0^2 \leq \frac{1}{\beta} (1 + 3 \frac{(m)_0}{(n)_0} I_0 \frac{B_0}{h_0} S_0 k^2)$$

となり、実験定数(表-1)を代入して吟味すると、いずれの場合も安定となる。すなわち、本実験
程度の側岸からの給砂では安定性に影響を与えないことになる。今後、 $\beta \neq 0$ の場合について
(13), (14) 式にもついで検討するつもりである。

1) 芦田, 村本, 田中, 藤田; 関西支部年講 1971-5

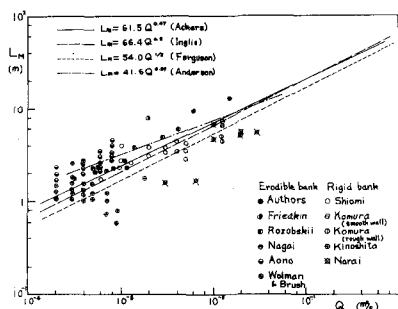


図-3 波長と流量の関係

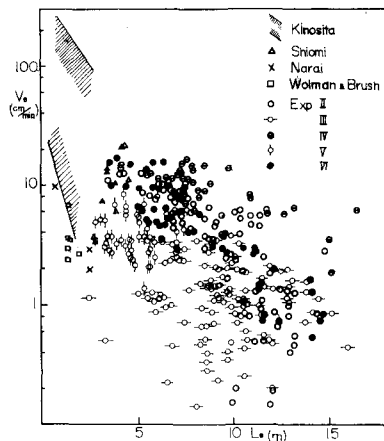


図-4 波長と移動速度の関係

ExpNO	Q_0	B_{0m}	I_0	F_0	C_0	S_0	$(m)_0$	$(n)_0$
I-1	7.5	100	5	0.74	2.10	0.69	5.02	9.03
I-2	15.0	100	5	0.86	2.67	2.06	3.99	6.99
II	15.0	50	5	0.86	2.67	2.06	3.99	6.99
III	6.0	50	5	0.76	2.76	3.42	4.26	7.33
IV	15.0	50	5	0.85	1.23	0.80	3.59	6.19
V (U.S.)	6.0	50	5	0.76	2.76	3.42	4.26	7.33
(0.5)			2	0.33	0.44	0.62	8.97	16.94
VI (U.S.)	15.0	50	5	0.85	1.23	0.80	3.59	6.19
(0.5)			2	0.35	0.36	6.51	4.56	8.12

表-1 実験条件と定数