

京都大学防災研究所 正員 藤田裕一郎 村本嘉雄

1. はしがき : 流路形態は、河道の変動の結果あるいはその途中経過として現われる流路の平面形状を指していることが多い。河川災害に直結するこの河道の変動の機構を明らかにするために、着者は、側岸侵食性流路を用いた大規模実験を行い、その成果を報告してきた。実験は単純な条件で行われるが、そこで生じる流路変動を検討すれば、それが実河川の変動現象と本質的に対応していることが理解される。本文は、既報の実験結果を流路形態の観点からまとめ、その形成過程を明らかにしようとするものである。

2. 流路形態の形成過程 : 河道の変動が側岸侵食と中規模河床形態とくに交互砂州の発達とに密接に関連していることは、従来から指摘されてきたことであり、実験の観察からも容易にわかることである。図-1は、このような観点から、実験の流路変動過程と結果的に生じる流路形態をまとめ、単純化した流れ図である。同図では最初直線状態にあった流路が、振幅によって水理条件を変化させる一方、交互砂州を形成していくと考えている。すなわち、掃流力が低く砂州による局所沈降を生じない場合に安定流路が、振幅が急速で交互砂州が発達しない間に発達条件が満足されなければ、ときに細粒流路が、そうでなく十分発達したときに蛇行流路が形成されることを示されている。以下の考察はこの図を基礎にして進める。

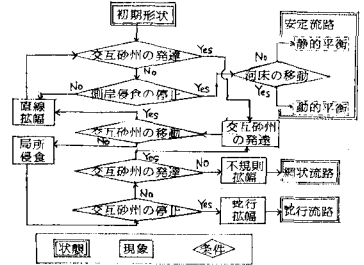


図-1 流路形態の形成過程の流れ図

3. 流路形態の分類と形成条件 : 流路形態は、複雑な河道の様相を反映して、種々の詳細な項目に分類されることも多い。しかし、ここでは最も一般的に図-1に示した直線、蛇行および細粒の3形態を基本的なものとし、さらに変動の途中経過も考慮して直線流路を砂州状況に応じて2つに分け、表-1にまとめよう分類する。つぎに、流路形態は、交互砂州を軸にして形成されると考えているので、その形成条件を中規模河床形態の形成領域区分図を用いて検討すれば図-2のようである。同図には着者らの実験以外に、流入角を与えない従来の実験値および Simons らの canal の資料も、表-1の分類にあてはめて示している。領域区分線は、 $h/d < 100$ の場合、中規模河床形態のものと同様の傾向を示しているが、 $h/d > 100$ の場合では前者のものを2 Order程度上方に平行移動したようになっている。後者には Ackers らの実験値しか無いのでその一般性に疑問があるが、前者の形成条件を表-1にまとめている。

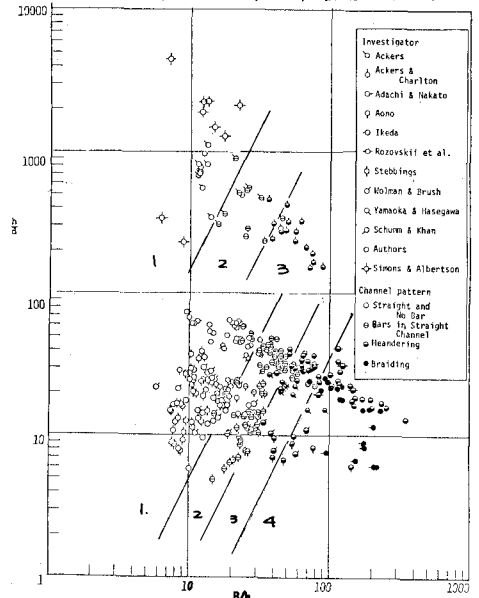


図-2 流路形態の形成条件の検証

4. 流路形態の形成条件に関する検討 : 表-2に一括表とした従来の流路形態の形成条件と前述の資料の豊富な $h/d < 100$ の場合のそれとの対応関係について検討する。簡単のために等流状態を仮定し、流路形態は最終状態にあると仮定すると考える。まず、Chezy型の抵抗則を仮定すれば、水流は慣用の記号を用いてつぎのように表

表-1 流路形態の分類と形成条件

形態	假称	流路平面形状	砂州形状	形成条件	
				$h/d < 100$	$h/d > 100$
1	直線流路1	直線状	無、不明確	$0.05(B/h)^2 > h/d > 0.05(B/h)^2$	$1.5(B/h)^2 > h/d > 1.5(B/h)^2$
2	直線流路2	直線状	明確、規則的	$0.012 > > > 0.012$	$2.0 > > > 2.0$
3	行流路	交互の局所侵食	明確、規則的	$0.0034 > > > 0.0034$	$0.2 > > >$
4	網状流路	不規則な局所侵食	乱れている	$0.0034 > > >$	$0.2 > > >$

される。 $U = CU_*$,

$Q = UBh$, $U_* = \sqrt{ghI}$

一方、領域区分条件および流路

変動が小さくなく、掃流力が限界掃流を大きく上回ることはないからつぎの式が得られる。

$$h/d = \beta (B/h)^2, \quad U_c^2/U_{c*}^2 = \alpha (\approx 1 \sim 3)$$

以上の式から、 U, U_c, h および B を消去し、 U_{c*} にかえて Q を用いれば、従来の形成条件式に類似した型の式が得られる。

$$I = \alpha^{1/2} \beta^{0.2} C^{0.4} U_{c*}^{1/2} (\alpha/p)^{1/2} g^{0.2} d Q^{-0.4}$$

いま、一定 $\alpha=2$ とし、大きな流水抵抗を考慮して $C=10$ を仮定して、 $U_{c*}=0.05$, $\rho/p=2.65$, $g=9.8 \text{ m/sec}$ を用いれば、区分線の式に対応して、

$$I = 1.11 \times 10^{-2} d Q^{0.4} \quad \text{： 直線流路と蛇行流路} (\beta=0.012)$$

$$I = 1.42 \times 10^{-2} d Q^{0.4} \quad \text{： 蛇行流路と細粒流路} (\beta=0.0034)$$

が得られる。ただし、 d はcm単位、 Q は m^3/sec 単位である。上記式の係数はHendersonのもの約5倍であるが、 d および Q の指数はHendersonのものに良く合致している。係数値に最も影響する任意性の強い定数 β であるが、最小の1にすれば差は2倍強になる。

5. 流路形態の移行限界における砂州形状： 初期の直線流路から振幅とともに砂州が発達していくが、流路と砂州の形状の関係がどのようになるか、その時点で流路形態が移行していくかを明らかにするために図-3を作成した。側岸侵食性流路において砂州の波長 λ とともに波高 Z_b を測定した例は余り無いので着るもののみ図示されているが、蛇行流路および細粒流路が形成されるのは砂州形状がそれぞれつぎのとおりである。

$Z_b/h \geq 1.3$ かつ $Z_b/B \geq 0.016$ および $Z_b/h \geq 0.9$ かつ $Z_b/B < 0.016$ したがって、振幅過程にある流路で砂州の発達条件が満足され、砂州が発達していき上記の条件に到達した時点で流路は他の形態に移行する。

6. 側岸侵食性流路における交互砂州の発達： 交互砂州は、この場合も固定側壁の場合と同様に発達すると考え、流路幅が変化することを考慮して $\Sigma \Delta(B Z_b)/8b$ と通水時間の関係を示せば図-4のようである。細粒流路とは、Exp. VII 以外ほぼ明確な交互砂州が形成され、平均的に $\Sigma \Delta(B Z_b)/8b = 0.07 T$ の関係が認められる。同式を連続関係に置換すると交互砂州の発達が B と単位幅流砂量 q_b から推定される式が導かれる。 $Z_b(T) = \{0.07 / B(T)\} \int_0^T q_b(t) dt$

7. 流路形態の形成過程の予測について： 上式は、直線流路の条件が満足されているときに成立し、その状態では流路変動の一次元解析が適用可能である。したがって、一次元解析により B, h, q_b などを求め、その結果を上式に代入すれば Z_b も予測できる。図-5はそのようにして Z_b を求め、どの時点で流路形態の移行限界に到達するかを検討したものである。同図では h の計算値が実測値と一致してはいないが実験結果の傾向と大まかにしか合致していない。今後、このように改良を加えらるとともに、さらに精密な形成過程の取扱いを進めたい。

(参考文献) 1) 芦田・村本・奈良井・堀入；京工防究研年報(以下年報と略す)13号B, 2) 芦田・村本・奈良井；年報14号B, 3) 村本・田中・藤田；年報15号, 4) 藤田・村本；年報18号B, 5) 村本・藤田；年報19号, 6) 村本・藤田；第22回水理講演会論文集, 7) Simons・Albertson；Transaction, ASCE, 128, 1963, 8) 村本；水工学シリーズ, 1976, 9) 村本・藤田・徳池；第34回年報論文集

表-2 従来の流路形態の形成条件式

Leopold・Wolman: $I = 1.3 \times 10^{-2} Q^{-0.44}$	これより厳こう配で蛇行河溝
Lane: $I = 7.0 \times 10^{-4} Q^{-0.25}$ $I = 4.1 \times 10^{-3} Q^{-0.25}$	平等状態の蛇行河溝の条件式 砂河川の蛇行河溝の条件式
Henderson: $I = 2.7 \times 10^{-3} d^{1.14} Q^{-0.44}$	これより厳こう配で細粒流路
(I: ころ配, Q: 掃流(m^3/sec), d: 粒径(cm))	

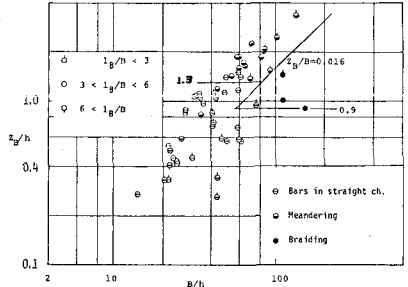


図-3 移行限界時の砂州形状の検討

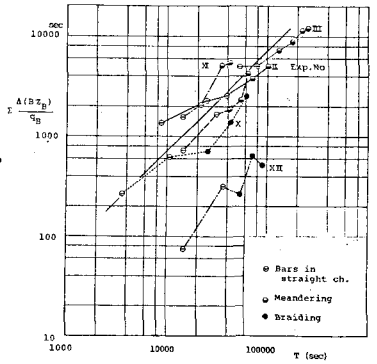


図-4 側岸侵食性流路での砂州の発達

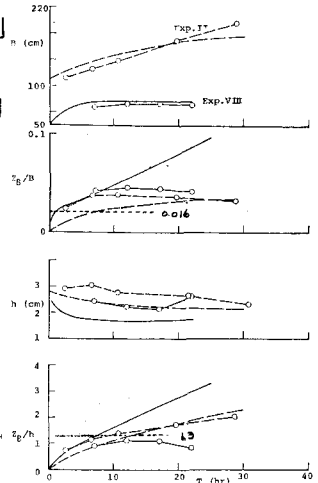


図-5 砂州形状変化の予測結果