

65 網状流路の変動機構

京都大学防災研究所 ○里深好文
 京都大学防災研究所 芦田和男
 京都大学防災研究所 江頭進治
 京都大学 大学院 後藤隆之

1. はじめに 河道部に広く土砂が堆積し、その規模に対して流量が小さい場合には、土砂堆積域に複数の水みちが存在する網状流路が形成される。水みちの本数や幅が空間的にも時間的にも変化し、かつ、それらの水みちが3次元的に変動する網状流路においては、従来の1次元的方法で流砂を予測することが困難な状況にある。本研究においては、網状流路における流路と流砂の変動機構に着目し、水路実験を中心とした解析を行なっている。また、流砂量予測の上で重要な役割を果たす水みち幅の推定に関して、中規模河床波の形成条件を基にした式を提案している。

2. 流路変動に関する実験 実験は図-1に示す

直線可変勾配水路を用いて行なった。水路内に一般的な砂を平坦に敷き詰め、上流端から一定の給水と給砂を与える。実験条件は表-1に示されている。

Q は給水量、 Q_B は給砂量、 d_{50} は使用砂の中央粒径、 i_0 は水路勾配、 i_* は平衡河床勾配である。

水路下流端において、流出する土砂を5分間隔で計測し、それを用いて下流端流砂量を求めている。その結果は、図-2に示されている。河床形状の測定は、適当な時間間隔で通水を停止し、連続式河床計を用いて行なっている。また、通水中10分間隔で、水路上部から写真撮影を行ない、流況の記録を行なった。このとき、水みちが鮮明に判別できるよう、水に染料を入れている。計測された河床形状と流況を図-3に示す。

水路内部には、水路幅のスケールを持つ河床形状（交互砂州状の起伏）が形成されている。水みちは必ずしもこの形状の谷線に沿って流れているわけではなく、時々刻々ランダムにその場所・方向・本数を変えながら、流れている。流水が谷線に集中した所では、わりあい流路は緩やかに変動するのに対し、流水が砂州の上（高い部分）を流れている所では、水みちは不安定である。水みちの変動にともなって、水みちに囲まれた部分（浮き州）は変動している。すなわち、上流側が侵食されると、流下したように見え、

表-1

	Q (cm^3/s)	Q_B (cm^3/s)	d_{50} (cm)	i_0	i_*
RUN-A	1000	5.38	0.192	1/20	1/19.6
RUN-B	3000	6.02	0.192	1/50	1/45.4

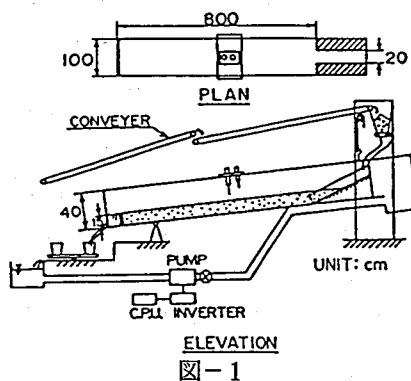


図-1

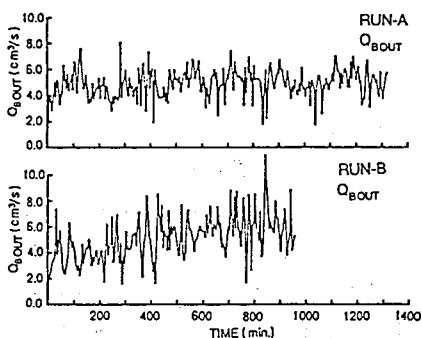


図-2

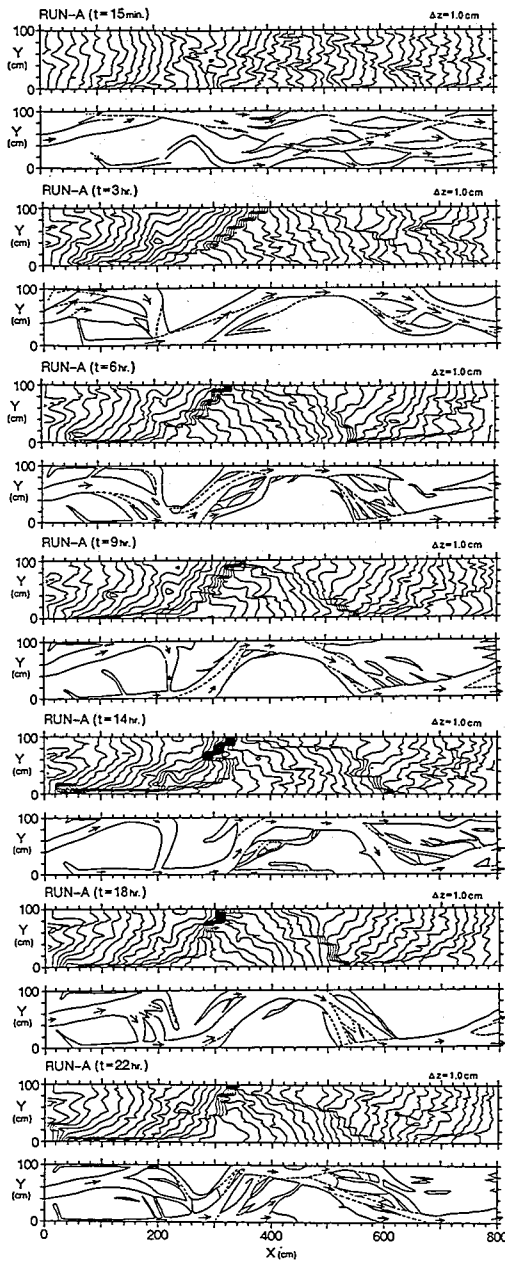


図-3

下流側が侵食されると、遡上したように見える。また、浮き州の大きさも、水みちの変動に伴って変化している。しかし、この変化が特定の方向に進むわけではなく、多少の変動はあるにせよ、浮き州の存在位置・規模は大きく変化することはない。

3. 流路の変動機構 以上より、水みちの変動は図-4のようであると考えられる。すなわち、水流の集中によって形成された流路において、側岸の掃流力が限界掃流力を越えると、側岸が侵食され、流路の拡幅が起こる。この拡幅が続くと、やがて側岸に供給される流砂量と側岸から侵食される量と

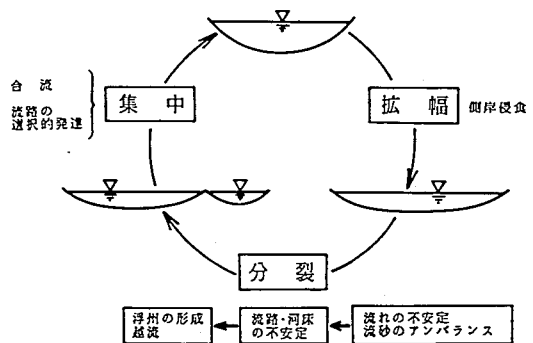


図-4

が釣り合った状態（動的平衡状態）になる。その後、流路内で、水流の不安定や流砂のアンバランスが起こるようになり、砂州が形成される。砂州の発達が進むと、浮き州が形成されたり、側岸からの越流によって、流路が分裂する。流路の分裂が進むと、ある流路の掃流力が小さくなって堆積が起こり、流路そのものが消滅したり、流路が合流したりする。その結果、流路は集中する。このようなプロセスが時間的にも空間的にも繰り返されている。また、各地点における流砂量は、この流路変動と互いに関わりあひながら、変動しているものと考えられる。任意の地点について流砂量を調べることは困難であるから、本研究においては、下流端付近を対象として、流砂量変動と

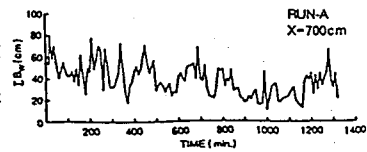


図-5

流路変動との関係について考察する。まず、流路変動を端的に表わすパラメーターとして水みち幅を取りあげた。水路下流端から1mの地点(x=700cm)において、写真から読みとった水面幅の合計を縦軸に、時間を横軸にとり、その変動を見たのが図-5である。水面幅は水路と直角方向に計測しているため、厳密に水みちの幅を表わしているとは言えないが、その変動はほぼ表わされていると考えられる。これと図-2のRUN-Aとを対応させてみると、約200分程度の周期が両方に現われている。このことをより明確にするために、MEM（最大エントロピー法）を用いたスペクトル解析を行なった。その結果を図-6に示す。これを見ると、両者の卓越周期はほぼ220分であり、流路変動と流砂量の変動とが密接に関わっていることが判明した。この周期は砂州の変動周期と捉えることもでき、今後、より詳しい考察が必要である。

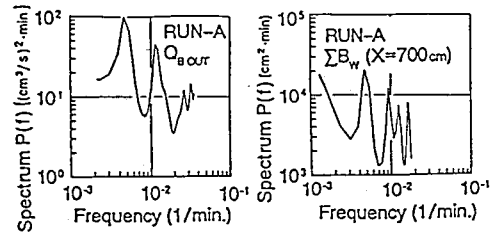


図-6

流路変動との関係について考察する。まず、流路変動を端的に表わすパラメーターとして水みち幅を取りあげた。水路下流端から1mの地点(x=700cm)において、写真から読みとった水面幅の合計を縦軸に、時間を横軸にとり、その変動を見たのが図-5である。水面幅は水路と直角方向に計測しているため、厳密に水みちの幅を表わしているとは言えないが、その変動はほぼ表わされていると考えられる。これと図-2のRUN-Aとを対応させてみると、約200分程度の周期が両方に現われている。このことをより明確にするために、MEM（最大エントロピー法）を用いたスペクトル解析を行なった。その結果を図-6に示す。これを見ると、両者の卓越周期はほぼ220分であり、流路変動と流砂量の変動とが密接に関わっていることが判明した。この周期は砂州の変動周期と捉えることもでき、今後、より詳しい考察が必要である。

4. 水みち幅の推定法 流路変動のプロセスの中で最もシンプルな、流路が一本である場合を対象とした、水みちの幅の推定法について考察する。

従来、水みち幅の推定式としては次のようなレジーム式が多く用いられてきた。

$$B = \alpha' Q^{1/2} \quad (\alpha' = 5 \sim 10, \text{ m-sec 単位}) \quad (1)$$

この式は適用範囲が広く、簡便であるが、次元を持った式であり、物理的な根拠に乏しい。

この他にも、池田・Parker¹⁾らが、緩勾配の動的平衡な流路に対して構築した式などがあるが、本研究が対象とする比較的急な勾配に対しての適用は難しい。

流れのスケールには、鉛直方向、横断方向、流下方向があり、これらの間には、あるコヒーレントな構造が存在する。その構造は図-7に示す交互砂州の流れに端的に現われている。交互砂州の形成条件は、村本・藤田²⁾らによると次のようである。

$$0.15 < \frac{h/d}{(B/d)^{2/3}} < 0.45 \quad (2)$$

ここに、 h ：水深、 d ：粒径、 B ：流路幅である。流路幅が(2)式の範囲より広い場合、図-8のような複列砂州が形成される。この時、一本一本の流路について(2)式が適用されることが知られている²⁾。ある水みちの幅が(2)式の範囲を越えていた場合、砂州の発達にともない流路は分裂する。よ

って、水みちに幅は交互砂州の幅にほぼ等しいか、それより若干小さいと考えられる。

いま、(2)式を次のように変形する。

$$B/h = \beta (h/d)^{1/2} \quad (3.313 < \beta < 17.213)$$

流水の連続式を

$$Q = v B h$$

とし、抵抗則を

$$\frac{v}{u_*} = \sqrt{8/f} = A_r - \frac{1}{\kappa} + \frac{1}{\kappa} \ln \frac{h}{d} \quad (5)$$

とする。ここに、 Q : 流量、 v : 平均流速、 $u_* (= \sqrt{g h I})$: 摩擦速度、 g : 重力加速度、 I : エネルギー勾配、 A_r : 実験定数(=8.5)、 κ : カルマン定数(=0.4)である。

(3), (4), (5)式を連立させて解くと、

$$B = \left(\frac{\beta}{\sqrt{8/f}} \right)^{1/2} \left(\frac{Q}{\sqrt{g d I}} \right)^{1/2} \quad (6)$$

となる。 $(\beta/\sqrt{8/f})^{1/2}$ は多くの場合、1に近い値となるが、これを新たに α とおくと、次式を得る。

$$B = \alpha \left(\frac{Q}{\sqrt{g d I}} \right)^{1/2} \quad (7)$$

これは次元的にも正しく、(1)式から見ても、一般に適用できるものと思われる。

(7)式の妥当性の検討を行なうために、実験値との比較を行なった。図-9にその結果を示す。図

中の実験値は、水路上流端付近の、水みちが一本で等流に近い部分のものを、計算値は β を17とし、 f は実験値を用いている。これを見ると、水みち幅は式(7)によってかなりよく推定されていると思われる。

4. おわりに 複数の水みちが形成される条件下における流路と流砂量の変動について水路実験を行なった結果、水みちは拡幅・分裂・集中を繰り返す、それに伴って流砂量も変動していることが明らかになった。

また、流路が一本の場合の水みち幅

に対し、中規模河床形態の形成条件を基礎とした推定法を提案し、その妥当性の検討をおこなった。

<参考文献> 1)池田・Parkerら：河川の動的安定横断形状とそのスケール、土木学会論文集、第37号、1986。 2)藤田ら：複列砂州と網状流路の形成過程に関する実験、京大防災年報、1986。

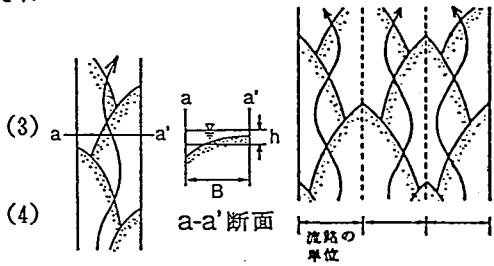


図-7

図-8

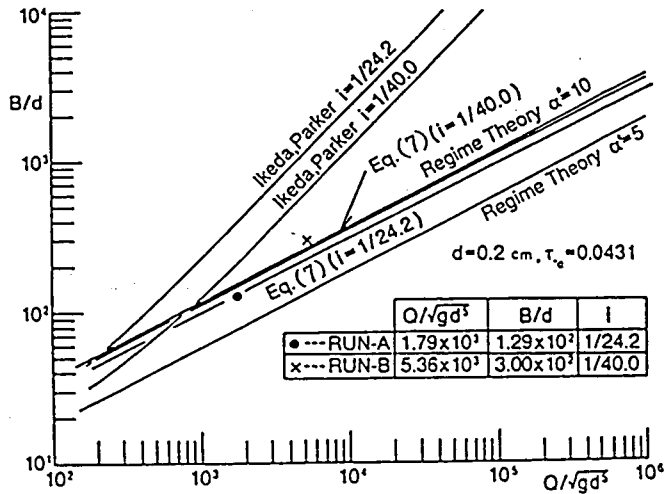


図-9