

京都大学防災研究所 正会員 村本嘉雄

京都大学防災研究所 正会員 藤田裕一郎

1. まえがき 蛇行流路の形成過程に関する従来の研究は、その平面形状および蛇行のピーク部や転向部の横断面形状の変動過程の定性的な記述が主であり、1蛇行波長区間以上に跨る変動を定量的に把握したものは実験データにも少ない。本文は、この変動の定量的把握を目的として大型水路で綿密な測定を行った実験(下表)結果の検討を述べ、それに基づいて蛇行発達過程への流路変動の一次元解析法の適用性について考察する。

実験条件: 平均粒径(D_m) 0.88mm, 流量 15 m^3/sec
 水路幅 750cm, 敷設勾配 1/200, 砂量 0.35 m^3/sec
 敷設長さ 43m, 初期流路形状: 台形 (90-50-10 $^\circ$)

2. 蛇行の発達過程 通水に伴って流路は一樣に拡幅し同時に砂州も発達し、次第に水流に偏りを生じ砂州の進行は緩慢となって水衝部が固定化する。砂州と水衝部の対は上流から他の砂州が流下しない限り維持されて蛇行拡幅が進行する。この過程での土砂収支の検討結果から、侵食と堆積は対になって生じ、とくに蛇行弯曲部では拡幅量に匹敵する砂州の張出し量があって、主流路の幅は一定に保たれる傾向が認められた。また、観察によれば、砂州上に拡がった水流は前縁で順次滞筋に集中して弯曲凹岸に沿って主流を形成し、再び砂州上に拡がる。この主流に沿う土砂の移動状況から考察すると、蛇行の発達機構は、1)主流に沿う河床変動機構、2)弯曲凹岸の側方侵食機構、3)砂州の発達機構の3者が結合したものと考えられる。

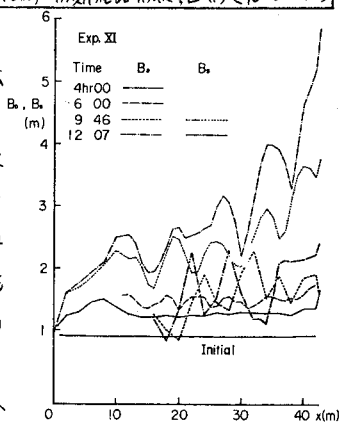


図-1 流路幅と流砂幅の変化

3. 蛇行発達時の流砂量と側岸侵食量 流路幅 B_x と流砂幅 B_z の時間的变化を示すと図-1のようであって、6 $^{\text{hr}}$ 前後に一樣拡幅から蛇行拡幅に移行し、 B_x は急激に増大するが、 B_z は9 $^{\text{hr}}$ 46'、12 $^{\text{hr}}$ 07'とも同範囲を B_x と逆位相で振動し上述の主流路と対応し、極小値は凹岸にあって一樣拡幅の最終幅と同程度である。下流端流砂量 q_b と平均流速 U との関係を無次元化して蛇行時と直線時とを比較して図-2に示す。両者は同じ範囲にあって、 $U/(g\beta-1)D_m=2.5$ 付近が限界値とみなせ、蛇行による明確な影響は現われていない。つぎに、蛇行発達時の側岸侵食速度 $\Delta A/\Delta t$ の分布を示すと図-3のようである。各弯曲部での $\Delta A/\Delta t$ の分布は下流側にピークのずれた非対称形で、流下方向に蛇行が発達していく状態を表わしている。下流端の段落ちの影響によって最下流の弯曲は2段階ともピークが高くなっている。また、9 $^{\text{hr}}$ 46'~12 $^{\text{hr}}$ 07'の $x=15\sim 20\text{m}$ では上流側の蛇行位相の変化によってピークが乱れている。しかし、6 $^{\text{hr}}$ 00'~9 $^{\text{hr}}$ 46'の3弯曲はほぼ同一の分布形を呈し、流下方向に一樣に蛇行が発達しており、9 $^{\text{hr}}$ 46'~12 $^{\text{hr}}$ 07'の $x=24\sim 32\text{m}$ の弯曲も類似の分布を示し、一樣な発達過程を保持していると考えられる。一樣な蛇行発達過程の側岸侵食速度の平均値は一樣拡幅時の平均値と同程度の大きさであった。一樣発達時の単位水深当りの側岸侵食量 q_b/h と U との関係を無次元化して一樣拡幅時の比較して示すと図-4のようであって、図-2と同様両者は同一範囲に入り、 $U/(g\beta-1)D_m=2.5$ 付近に限界値がある。一樣発達時の水理量は B_x に対応して算定したものをを用いてあるが、水面幅による水理量で

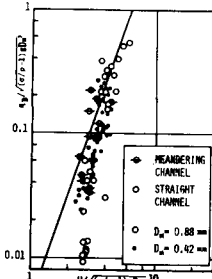


図-2 流砂量の検討

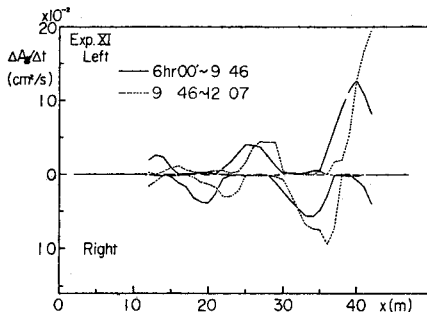


図-3 蛇行弯曲部の側岸侵食速度の分布

は点には左にはたれることや転向部での g_b/h は小さいことなどから蛇行振幅は弯曲凹岸に集中した主流の平均流速に支配されると思われる。最後に、側岸侵食量、砂州発達量(河床堆積量)と流砂量との関連を $9^{46}/12^{40}$ の土砂収支から逆算して示すと図-5となる。 $x=33m$ より下流では砂州発達量と側岸侵食量との差が大きく急激に流砂量が増大しているが、一樣発達に近い $x=24\sim 30m$ では両者はほぼ釣り合い、流砂量は弯曲部で減少、転向部で増加している。側岸侵食砂は対岸の砂州にはほとんど堆積せず主流路の流砂になると考えられるので、これを累加して示すと破線のように転向部ではほぼ流砂量に一致し、上流からの流砂はほとんど弯曲部を通過せず、砂州の発達に消費されること判る。

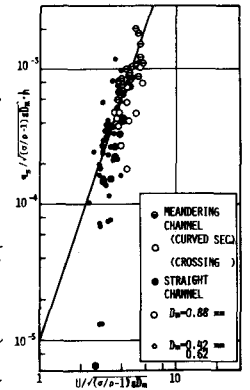


図-4 側岸侵食量の検討

5. 蛇行発達過程の解析法 蛇行発達過程には平面的な解析が望ましいが、側岸での境界条件の設定が困難であるため、ここでは側方侵食を伴う河床変動の一次元解析を上述の一樣蛇行発達過程に適用する方法を検討する。一樣発達過程では各弯曲間の距離 L には伸縮がなく、主流の砂州上への流出条件が砂州からの流入条件として用いられる。水衝部の固定した段階で、図-6に示すように、初期流路底面の中心線を x 軸、横方向に y 軸、移動する直交曲線座標系を x_1 平面上で主流路の中心線に沿って x_1 軸、これと直交する横方向に x_2 軸、上方向に y 軸をとる。主流断面を砂州前縁Bodyから凹岸Boutに至るな長方形、砂州上では弯曲の出口 $x_1=x_2$ から $2\sin\theta_B$ で広がる幅のな長方形(点線)で仮定し、砂州上の各主流断面が前縁と交わる点の単位幅流量 g_b の下流側の主流軸に直角な成分が強制流入すると仮定する。同様に g_b の直角成分も流入するが、これは前縁が張出すのに消費されるものとする。また砂州上の主流路からは流出量 g_{out} があって g_{out} に比例する流出土砂量 g_b があり、 g_b が主流路以外の砂州高さを上昇させるとする。以上から基礎式はつぎのようにまとめられるが、ほとんどの記号は慣用通りである。

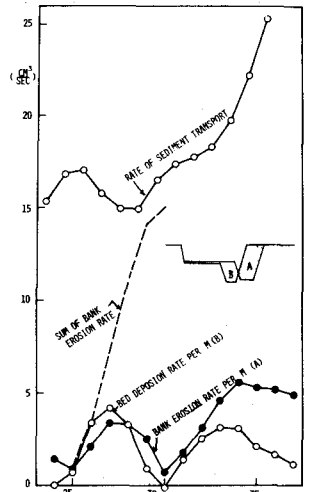


図-5 側岸侵食量、河床堆積量と流砂量との関連

$$\frac{d(g_b)}{dx_1} = \begin{cases} g_{in} (0 < x_1 < x_2) \\ g_{out} (x_2 < x_1) \end{cases} \quad (1) \quad \frac{dQ_s}{dx_1} - \lambda \left(\frac{dQ_s}{dx_1} + \frac{Q_s}{C_B^2 h^3} \right) - \frac{dQ_s}{dx_1} \left(\frac{Q_s}{C_B^2 h^3} + \frac{Q_s}{2 C_B^2 h^3} \right) + \frac{dQ_s}{dx_1} - \lambda = 0 \quad (2)$$

$$(1-\lambda) \frac{d(g_b)}{dx_1} + \frac{d(g_b)}{dx_1} = \begin{cases} -g_s (0 < x_1 < x_2) \\ -g_s (x_2 < x_1) \end{cases} \quad (3) \quad g_b = 0.04 U^3 D_m / \{ (C_B - 1) g D_m \}^{\frac{3}{2}} \quad (4)$$

$$g_b = C_B \cdot g_{out} = C_B \cdot C_{out} (h + z - s) \quad (5) \quad g_s = (1 - \lambda D - 2) \frac{dQ_s}{dx_1} = 10^{-5} U^3 h / \{ (C_B - 1) g D_m \}^{\frac{3}{2}} \quad (6)$$

こゝに、④、⑤式はそれぞれ図-2, 4の直線であり、 λ, γ は平均化の係数、 λ は砂の間引き率/100、 C_B, C_{out} は定数、 D は河岸高である。解析は基礎式を差分化して、①、②式から U を求め、③~⑥式で1 stepの変動を算定し、 x_1 座標に変換後、新しい x_1 軸について再び繰返す方法をとったが、②式による算定が困難であったため摩擦こう配を $x_1=0$ で0.002、 $x_1=x_2$ で0.007、砂州の終端で0.002と仮定して解析した結果が図-6に示してある。初期条件は 6^{40} の実験値を理想化した図中の太線で与えた。凹岸の傾向は対応しているが、河床変動算定の誤差のため前縁の張出しが伴わなかった。

6. あとがき 蛇行流路の発達について、実験結果のうち主に流砂量と側岸侵食量に検討を加え、流下方向に一樣な蛇行が発達する可能性を示して、この発達過程の一次元的な解析法の適用を考察した。今後解析法をより現象に適合する形に改め、基礎式の性質を検討するとともに、精度の高い数値解析を行いたい。

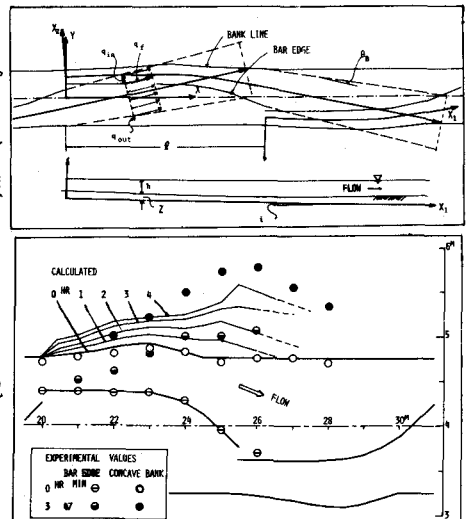


図-6 座標系(上)と解析結果(下)