

長谷川和義
山岡 勲 共著 “蛇行流路の発達に及ぼす平面ならびに
河床形状の影響 (英文)” への討議

(土木学会論文報告集 第 296 号・1980 年 4 月掲載)

▶ 討議者 (Discussion) ————— 池 田 駿 介 (埼玉大学)・澤 井 健 二 (京都大学)
By Syunsuke Ikeda and Kenji Sawai

沖積地河川の蛇行の発達に、流路の平面形状そのものが寄与しているのか、それに伴う凹岸側の洗掘と凸岸側の堆積による底面の傾きが寄与しているのか、あるいは、平面形状とは別個の問題としての交互砂州が寄与しているのかを、凹岸部頂点における偏倚流速という、同一の尺度で論じ、それらの寄与の程度を比較しておられることに、大きな興味を覚えます。討議者ら¹¹⁾も、類似の観点から、この問題に関して研究を進め、それぞれの要因に基づく卓越波長と実際の蛇行波長を比較することによって、どの要因が支配的であるかを論じてきました。その結果、沖積蛇行においては、弯曲による底面の傾きに起因する蛇行の卓越波長と、交互砂州の卓越波長とが、いずれも実際の蛇行波長と平均的に一致することを見出しています。したがって、この場合には、どちらの要因がより支配的であるかを断定するには至りませんでした。

著者らは、流路の蛇行と交互砂州とを、同じ位相で重ね合わせた式 (13) をもとに、蛇行発達の主因が交互砂州にあるという結論を導いておられるようですが、少なくとも直線流路においては、交互砂州はかなり速く前進するものであり、これが進行速度の遅い蛇行に発達していく過程を説明するには、式 (13) は不十分であるように思います。

また、著者らは、弯曲に基づく底面の傾きを表わす式 (12) における係数 A の値を 10 としておられますが、これは過大ではないでしょうか。討議者らは、弯曲による傾きと交互砂州による傾きを分離せず、それらを一体のものとして、 A の平均値として 2.89 を得ています。

次に、凹岸部頂点における偏倚流速 b の最大値を求める際、著者らは、相似条件を用いて $\theta_0 = \text{const.}$ (最大偏角一定) としておられますが、その根拠がよくわかりません。討議者の 1 人¹²⁾は、以前から、 $\theta_0 = \text{const.}$ ではなく、 $a_0 = \text{const.}$ (平面形状の振幅一定) のもとで、 b の最大値を求めるべきであると主張していますが、これ

は、線形安定解析との対照に基づく、以下の考察によって支持されます。すなわち、擾乱が微小で、その高次の項が省略できる場合には、流路の蛇行振幅を

$$a_0 = a_0 e^{\alpha t} \dots \dots \dots (31)$$

と表わすことができ、 α を最大にするような波数のものが、最も急速に発達するものと考えられます¹¹⁾。ところが、上式より、

$$\alpha = (da_0/dt)/a_0 \dots \dots \dots (32)$$

ですから、 α を最大にするということは、 a_0 が一定のもとで da_0/dt を最大にすることにほかなりません。ここで、 da_0/dt は凹岸部頂点における側方侵食速度に等しく、また、側方侵食速度は偏倚流速と正の相関をもつものと考えられますから、結局、 α を最大にするということは、 a_0 一定のもとで、 b を最大にするということになります。sine generated curve では、

$$a_0 \approx \theta_0/\omega \dots \dots \dots (33)$$

ですから、これを一定にして ω_{RP} , ω_{AP} , b_{RP} , b_{AP} などを求めれば、著者のものとは若干異なった結果が得られます。

また、著者らは、交互砂州のみを考えた $1/R=0$ の場合には、 b が極大値をもたないとしておられますが、それは、砂州の波高を一定にして ω を変化させられたからではないでしょうか。著者らも述べておられるように、実際には、交互砂州自体に卓越波長が存在しますから、その波高は ω の関数となり、卓越波数を ω_{ab} とすれば、それ以外の波数では、 a の値はきわめて小さいものと考えられます。そうすれば、式 (16) より、 b_a も ω_{ab} で最大値をもつことになります。また、式 (27) における砂州の波高と流路幅の関係は、実際に測定された平均的な波長すなわち $\omega = \omega_{ab}$ に対して成り立つものであり、 ω_{RP} や ω_{AP} を対象とした式 (26) や (28) においてそれが適用できるか否かには、検討が必要であるように思います。討議者ら¹¹⁾は、 $A=2.89$ とおいた場合、 ω_{AP} と ω_{ab} は平均的に一致しますが、 ω_{RP} はそ

これらの約 1/6 になることを見い出しています。

ところで、 b_{AP} が b_a よりも卓越するということは、著者らのいわれるように、交互砂州が蛇行の発達に重要な役割を演じていることになりませんが、さらに、 ω_{AP} と ω_{ap} が平均的に一致するという事は、交互砂州と蛇行の間に、一種の共振関係があることを暗示しています。進行速度の違いやその時間的変化を加味した解析がなさ

れば、議論がより明確になるのではないのでしょうか。

参考文献

- 11) 池田駿介・Gary Parker・澤井健二：河川の蛇行に関する統一見解，第 24 回水理講演会論文集，pp. 339~349，1980.
- 12) 澤井健二・池田駿介・日野幹雄・吉川秀夫共著：“河川の自由蛇行に関する理論的研究”への討議，土木学会論文報告集，第 265 号，pp. 151~152，1977.

▶ 回答者 (Closure) ————— 長谷川和義・山岡 勲 (北海道大学)
By Kazuyoshi Hasegawa and Isao Yamaoka

はじめに、著者らの論文に対しまして、詳細な討議を寄せていただきましたことに謝意を表します。討議の内容は、5 点にわたっておりますので、以下順に回答いたします。

(1) 式 (13) の表現は、確かに不十分ではありませんが、次の理由によって、これを採用いたしました。

砂州形状に対して、前進性を考慮すると、式 (13) は、

$$\eta = a \sin \frac{\pi}{2} n \cdot \cos \omega(s - \sigma - ct) + A \frac{n}{\epsilon R} \cos \omega s \dots\dots\dots (13)'$$

のように表わされます。このとき、試行関数の表現は、式 (14.1)~(14.3) にかわって、

$$u = \sin \frac{\pi}{2} n \cdot \{ a \sin \omega s + b \cos \omega s + a' \sin \omega(s - \sigma - ct) + b' \cos \omega(s - \sigma - ct) \} \dots\dots\dots (14.1)'$$

$$v = \cos \frac{\pi}{2} n \cdot \{ c \sin \omega s + d \cos \omega s + c' \sin \omega(s - \sigma - ct) + d' \cos \omega(s - \sigma - ct) \} \dots\dots\dots (14.2)'$$

$$\xi = \sin \frac{\pi}{2} n \cdot \{ e \sin \omega s + f \cos \omega s + e' \sin \omega(s - \sigma - ct) + f' \cos \omega(s - \sigma - ct) \} \dots\dots\dots (14.3)'$$

のように表わされるものと考えられます。ただし、 σ ：流路曲りに対する砂州のずれの距離、 c ：砂州の前進速度。以上の諸式を用いて、本文と同様に、MWR 法によって未定係数 $a \sim f$ および $a' \sim f'$ の満たすべき条件を求めると、

$$\left[\begin{array}{c} a \\ b \\ c \\ d \\ e \\ f \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ -\omega \cdot \frac{8A}{\pi^2 \epsilon R} \\ \frac{f}{2} \cdot \frac{8A}{\pi^2 \epsilon R} \\ \frac{4}{\pi R} \\ 0 \end{array} \right] \dots\dots\dots (15.1)'$$

$$\left[\begin{array}{c} a' \\ b' \\ c' \\ d' \\ e' \\ f' \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ -\omega a \\ \frac{f}{2} a \\ 0 \\ 0 \end{array} \right] \dots\dots\dots (15.2)'$$

となります。式 (15.1)' は、曲りによる 2 つの効果のみを表現しており、式 (15.2)' は、砂州の効果を示しております。いま、直線流路を想定しますと、 $1/R=0$ より、 $a \sim f$ はすべて 0 となりますので、talweg の頂点、すなわち $s = \sigma + ct$ 、 $n=1$ における偏倚流速は、式 (14.1)' より、 $u = b'$ となります。式 (15.2)' から b' を求めると、本文中の式 (16.2) において $1/R=0$ とした場合に一致します。

したがって、本文中の結論は、砂州が移動する一般の場合にもあてはまります。

ただし、著者らの方法は、曲りのみが働く場合、砂州のみが働く場合など、典型的な状態における偏倚流速をそれぞれ比較するものであり、直線から蛇行への発達過程を扱ってはいません。後者のことがらを扱うためには、曲りの発達に伴う砂州の形状および前進速度の変化を解明することが重要であると考えておりますが、いずれも今後の課題です。

(2) 著者らは、砂州の存在しない石狩川河口彎曲部の横断形状に対して、 $A \approx 10$ がよい一致を示すことを確かめています¹³⁾。しかし、この値が、一般的な値か否かに関しては、討議者が主張されている $A=2.89$ の値が、砂州形状を分離していないこととともに問題があると考えます。

ただし、本論文に則しては、 $A=2.89$ とした場合にも、式 (29) が、

$$\frac{b_{AP}}{b_a} = 0.23 \theta_0 \dots\dots\dots (29)'$$

となり、砂州の影響が蛇行発達の第一義的要因であるという結論には変わりありません。

なお、 A に関する理論式は、討議者の 1 人¹⁴⁾のものを

含め、いくつか提案されていますが、必ずしも実測値に一致しないことが多いようです。この原因は、① 理論の前提を、いずれも扇角の十分大きな円弧流路にしていること、② 比較する実測値において、砂州のような独自の河床変形要素が除かれていないこと、などによるものと考えられ、今後の検討が必要のように思います。

(3) 蛇行振幅一定のもとで拡幅速度最大の条件を用いるべきとする討議者らの考えは、1つの流路の蛇行の発達に着目し、いかなる波数の振幅が選択されていくかを論ずるためには、確かに有効であり、そのようにすべきであるといえます。しかし、この立場を、そのままいまの問題に適用することは、暗に、蛇行の発生要因が、初期の微小な曲りにあるという前提に立つことになってしまいます。これに対して、著者らの立場は、他のなんらかの原因ですでに蛇行を起こしている流路について、その曲りの影響をみようとするものであり、このような場合には、波長の異なる発達段階の等しい流路が比較されるべきものといえます。すなわち、すでに蛇行している多数の流路のうち、形が互いに相似なもの（同じ発達段階にあるもの）を選び、その中で、曲りの影響が最大のものを取り出して考えようとするものです。これは、砂州の影響との比較を行ううえで必要な手続きとなります。

(4) 交互砂州には卓越波数 ω_{ap} が存在し、波高に関する式(27)が、この波数のもとで成立すること、また、 ω_{ap} と ω_{RP} などが等しくなく、したがって、式(26),(28)の比較には問題があることは、ご指摘のとおりです。

しかし、砂州の発生および ω_{ap} に関する理論は、現在のところ研究途上にあり、必ずしも確定されていません。

そのため、 ω_{RP} や ω_{AP} を用いた比較を行ったわけですが、 $\omega_{ap}=6\omega_{RP}$ とした場合でも、式(26),(26)'は、

$$\frac{b_{RP}}{b_{ap}} = \frac{16}{3\sqrt{6}} \frac{\theta_0}{\pi^2} \frac{fF^3(6F^2+1)}{as(F^2/6+1)} = 4.41 \theta_0 f F^3 \frac{6F^2+1}{F^2/6+1} \dots\dots\dots(26)''$$

となり、 $F < 1$ の自然河川の場合には、結論はほとんど変わりありません。

(5) 著者らは、蛇行の発達が、① ω_{ap} の波数をもつ砂州の成長→② 蛇行流の発生と砂州の前進→③ 流路曲りの発達と砂州の前進停止→④ 曲りに伴う底面の傾きの効果の相剋→⑤ 曲りのいっそうの発達という過程を通じて起こるものと考えております。討議者ら¹³⁾の蛇行方程式による平面不安定解析の結果が、 $A=2.89$ において平均的に、 $\omega_{AP}=\omega_{ap}$ となる事実は、④、⑤の過程において、 A の効果が最も有効に働く流路が多いことを示しているものと解釈できますが、これが共振関係を示すものかどうかは、よくわかりません。いずれにしても、平面不安定解析から導かれる理論波長に対して、実測データの散らばりが大きいようですので、すべての蛇行流路において上述のことがらが成立しているわけではないものといえます。

(1) にもふれましたように、蛇行の発達過程および各種の蛇行形態を解明するためには、流路の曲りに伴って生ずる、① 砂州の形状および前進速度の変化、② 横断面内の2次流および底面の動的平衡形状、ならびに、③ 偏倚流による側岸浸食の速度式に関して詳しい知見を得ることが重要であり、今後の大きな課題となります。これらに関しましては、ご指摘のとおりです。

参 考 文 献

13) 山岡 勲・長谷川和義・道口敏幸：河岸浸食の研究，北大委託研究報告昭和54年度「河川機能に関する基礎的研究」，3，pp. 72～110，昭和55年3月。
 14) 池田駿介：移動床河川の弯曲部における二次流と動的横断平衡河床について，土木学会論文報告集，第229号，pp. 55～65，1974-9。