

## 二次流強度を考慮した河川蛇行の発達に関する一次元モデル計算

東京建設コンサルタント

正会員 ○松延 和彦

東京工業大学

フェロー会員 石川 忠晴

群馬県庁

非会員 武藤 靖秀

### 1. はじめに

沖積平野を流れる河川では、写真 1 に見られるような自由蛇行が発達する。これまで、一次元モデルで長期間・長区間の蛇行形状発達の数値解析を試みた研究は Ikeda ら<sup>1)</sup>の研究をはじめとして複数存在するが、それらのモデルには直感的・概念的な仮定が含まれている箇所があった。本研究では、より河川蛇行の実現象に適合した一次元モデルを構築し、Google Earth によって得られた衛星画像解析データとの比較を行った。

### 2. 既存の一次元数値モデルの概要

松延ら<sup>2)</sup>は、元来三次元的現象である流れ(①)と、平面二次元的現象である流砂による河床変形(②)に関して一次元モデル化を行い、河床の安定形状を求めた後に側岸浸食による河道中心軸変形(③)を行うという、蛇行現象の一次元モデル化を行っている(図 1)。

具体的手順は、以下に示す通りである。①に関しては、石川・劉<sup>3)</sup>の方法を利用している。これは、蛇行流れの中からモード関数を抽出し、それによって定式化された流速および水深を基礎方程式に代入して Galerkin 積分を適用することにより、三次元的現象を一次元化したものである。

②に関しては、河床高さの横断形状を三次関数のモードで表し、そのモード振幅の変化を一次元モデルで



写真 1 蛇行河川の一例(アマゾン川)

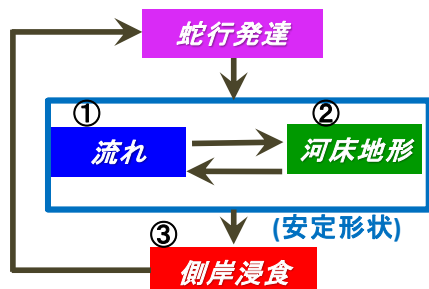


図 1 計算手順

計算できるようにしている。

③は最も不明確な部分であり、側岸浸食速度に関して何らかの仮定が必要となる箇所である。既存のモデルでは Ikeda ら<sup>1)</sup>と同様に、側岸浸食速度が主流の偏倚に比例するという仮定を用いて数値解析を行っていた。しかしながら、以上のモデルによる計算では、実際の河川のデータと比較して計算河道の波長がかなり大きくなるという結果が報告されていた。

### 3. 側岸浸食速度に関する新たな仮定

本研究では、この波長が過大評価されるという原因を、以下のように考えた。①と②の一次元モデル化については既存の研究<sup>2)</sup>で詳細に検討している。一方、③については、Ikeda らと同様に、主流偏倚のみに比例すると仮定している。一方、本モデルでは流れの計算において、Ikeda らのモデルでは考慮されていなかった、二次流強度が含まれている。

二次流が発生すると、外岸側での強い下降流により、最終的に側岸の崩落を引き起こす<sup>4)</sup>。そこで本研究では、側岸浸食速度( $\Delta n / \Delta t$ )を、主流の偏倚( $\beta_1$ )と、2次流強度( $\beta_3$ )の線形結合によって表されるものとした。すなわち、

$$\Delta n / \Delta t = E u_0 \{ \gamma \beta_1 + (1 - \gamma) \beta_3 \} \quad (1)$$

ここに、 $E$ : 無次元係数、 $u_0$ : 河道代表流速である。 $\gamma$ は両者の重みを示す係数であり、Ikeda らの仮定は、式(1)において $\gamma = 1.0$ の場合に該当する。

式(1)における係数 $\gamma$ の値を変えて、図 5 の黒線のような、直線水路の一部の区間に初期擾乱を与え、蛇行平面形状の発展計算を試みた。図 5 にその結果の一例を $\gamma$ の値別に色分けして示す。 $\gamma$ が大きくなるに従って、波長も大きくなるようである。そこで、図 6 に、横軸に $\gamma$ 、縦軸に蛇行波長  $L$  をプロットしたものを示す。同図の黒線は、実河川における平均蛇行波長を示す。 $\gamma = 0.2$ の時に、両者が良く一致している。

### 4. 計算結果の検証

以上の仮定を用いて、基本的な形状特性を Google Earth による衛星画像を用いて調べている、世界の 23 河川中の 8 河川について本モデルを適用した。これらの河川の川幅  $B$  と蛇行波長  $L$  の関係を図 7 に緑の点で

キーワード : 河川蛇行、一次元数値モデル、二次流、蛇行波長

連絡先 : 〒226-8502 横浜市緑区長津田町 4259 G5-3 石川研究室 Tel:045-924-5515

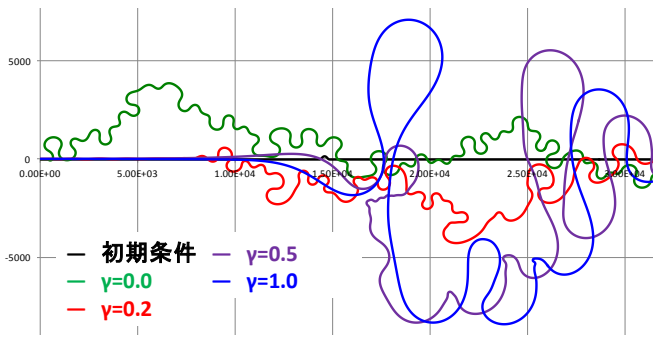


図5 計算結果( $\gamma$ 別)

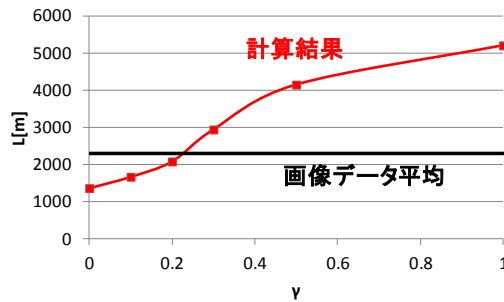


図6  $\gamma$ の値と波長 $L$ の関係

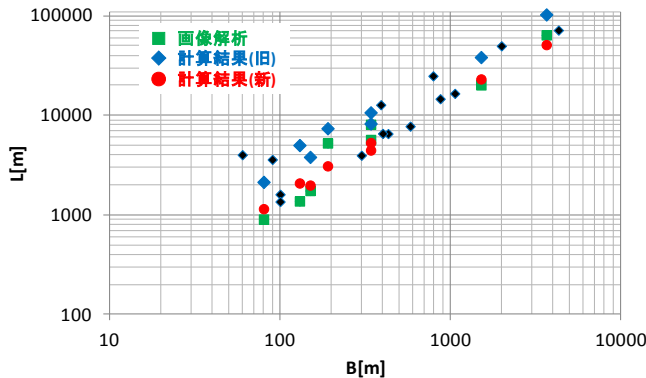


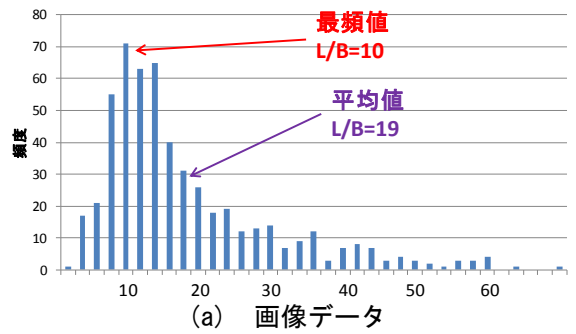
図7 蛇行波長の画像データと計算結果

示す。黒点はその他の15河川のデータである。

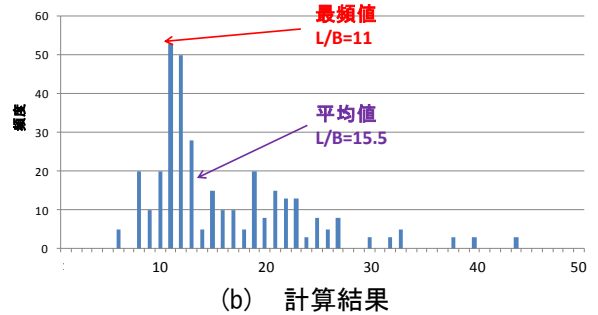
計算結果の河道から求められた平均蛇行波長について、図7に赤の点でプロットした。また、青点がIkedaらの仮定を用いて計算を行った結果である。以前の仮定による計算と比較して、波長の平均値が画像から求められたものとよく合致していることが分かる。

次に、画像データと計算結果の両方について、各河川の波形を一つずつ取り出し、それらの波長 $L$ を川幅 $B$ で除した波長川幅比 $L/B$ の頻度分布を描いた。図8にそれぞれの分布を示す。いずれも長い方に歪んだ分布形となっており、画像データでは最頻値が $L/B=10$ 、平均値が $L/B=19$ となった。一方、計算結果ではそれぞれ $L/B=11$ 、 $15.5$ という値となっており、平均波長については若干の差があるものの、最頻値および頻度分布形は良く一致する。

図9に衛星画像と計算河道を比較したものの一例を示す。蛇行平面形についても概略的に一致した形状が現れることが分かる。



(a) 画像データ



(b) 計算結果

図8  $L/B$ の頻度分布

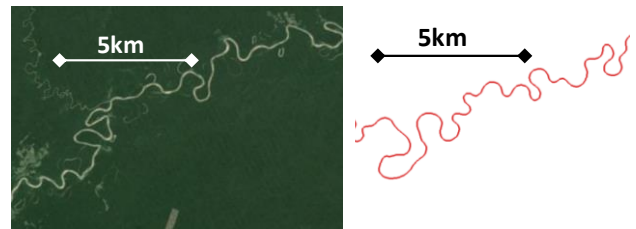


図9 衛星画像と計算河道の比較

## 5. 結論

本研究の結論を以下に列挙する。

- 1) 蛇行形状の発達について、新たに側岸浸食速度が主流偏倚と二次流強度の線形結合に比例するという仮定を行った。係数 $\gamma$ が0.2のとき、計算河道と実河川の蛇行波長がよく一致した。
- 2) この仮定による一次元数値シミュレーションモデルを複数の実蛇行河川に適用した結果、以前の仮定での計算と比較して波長の値がよく合致した。また、波長川幅比の頻度分布形も概ね一致している。

## 参考文献

- 1) Ikeda, S., Parker, G. and Sawai, K.: Bend theory of river meanders, Part 1. Linear development, Journal of Fluid.Mech., Vol.112, pp.363-377, 1981.
- 2) 松延和彦・石川忠晴・安藤誠：河川蛇行の発生・発達に関する一次元モデル計算、土木学会論文集 B1(水工学) Vol.71, No.4, pp.559-564, 2015.
- 3) 石川忠晴・劉暢：河川横断方向の主流シフトの一次元モデル化に関する研究、土木学会論文集 B1, Vol.69, No.1, pp.60-70, 2013.
- 4) 池田駿介・日野幹雄・吉川秀夫：河川の自由蛇行に関する理論的研究、土木学会論文報告集第255号、pp.63-73, 1976.