

II-283

エネルギー法による自由蛇行理論の適応性

日本大学工学部 正員 ○木村喜代治 高橋迪夫 長林久夫

自由蛇行流の運動エネルギーとポテンシャルエネルギーをを対象として、変分学の問題として流れの中心線の平面形状を求めた結果、Elasticaの曲線に相似することを前に示した¹⁾。蛇行要素の理論式を再録すると次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \lambda &= 4/c \cdot [2E(k) - K(k)], & L &= 4/c \cdot K(k), & M_b &= 4/c \cdot k \\ R_0 &= 1/c \cdot 1/(2k), & R_m &= 1/c \cdot K(k)/\theta_0. \end{aligned} \right\} \dots\dots (1)$$

$$\frac{1}{c} = \left(\frac{6IQ^2}{gA^3 i K(k)} \right)^{1/3} \dots\dots (2)$$

λ : 蛇行波長, L : 蛇行長, M_b : 蛇行振幅, R_0 : 蛇行曲線頂点の曲率半径, R_m : 曲率平均の逆数, θ_0 : 偏向角の半分。この曲線は各種水理量のほかに曲線の要素(記号を説明した項)のうち1個を与えれば曲線が確定される。

さて、河床に交互砂州が存在し、それにより流れが少し蛇行するとき、その波長はこの理論の蛇行の始まり(蛇行限界, $k=0$)における波長に相当するものと考え、多くの実測の結果と比較検討した。これによるとParkerの交互砂州の不安定理論から求めた波長の式に考慮した係数と同程度の経験係数($a \approx 1.4 \sim 1.5$)を用いると大局的にみてよく説明されることが分かった²⁾。また、自由蛇行河川の形成には砂州の形成が大きく係わっているから、蛇行波長と砂州波長とは密接な関係があると考えられる^{3, 4, 5)}。そこでここでは両波長で物理量間の関係が同様であるとして取り扱われる。

著者らの理論において、ある蛇行条件における蛇行波長は、同じ水理量における砂州波長と全く同一ではない。そこで前述のように、河川の自由蛇行の特性ととらえ、ある蛇行波長が同じ水理量による交互砂州波長に等しくなるものと仮定し、理論を補正する。式(1)の c は曲線の規模(形状が相似でその大きさ)を決める量である。その次元は $[L^{-1}]$ である。両波長が等しくなるような補正係数を γ とすると

$$\gamma = \left(\frac{\pi}{2} \right)^{2/3} \frac{[K(k)]^{2/3}}{[2E(k) - K(k)]^{4/3}} \dots\dots (3)$$

となる。よって曲線の形状規模を決める量に γ を考慮する。なお、蛇行無次元量 K_i は

$$K_i = \left(\frac{gA^3 i \ell^3}{12IQ^2} \right)^{1/2} = 2m^{3/2} \gamma^{3/2} K(k) \dots\dots (4)$$

さて、交互砂州と同じ経験係数 a を考え、長方形断面水路では

$$\frac{a\gamma}{c} = \frac{a}{2} \left[\frac{\pi^2 Q^2}{gh^2 i_0} \right]^{1/3} \frac{1}{[2E(k) - K(k)]} \dots\dots (5)$$

よって蛇行諸元は

$$\left. \begin{aligned} \lambda/B &= a2(\phi \cdot \pi)^{2/3} (H/B)^{1/3} \quad (\text{ここでは } a \approx 1.5 \text{ とした}) \\ L/\lambda &= K(k)/[2E(k) - K(k)], & M_b/\lambda &= k/[2E(k) - K(k)] \\ R_0/\lambda &= 1/8k[2E(k) - K(k)], & R_m/\lambda &= K(k)/4\theta_0[2E(k) - K(k)] \end{aligned} \right\} \dots\dots (6)$$

理論と実測とを比較し、どの程度の適合性があるかを調べる。蛇行平面形状については Leopold・Wolman⁶⁾ による実験規模から米国内の諸河川のデータおよび Chitale⁷⁾ によるインド大陸と米国内の河川データとを用いた。Fig.1,2は蛇行振幅について計算値と測定値とを対比した図である。計算値はデータによる蛇行波長と蛇行長とから理論より蛇行振幅を算出したものである。Chitale による振幅の測定値は蛇行帯幅の測定値から水路幅の測定値を差し引いて求めた。そのため実際よりやや小さめな値になっているものと考えられる。

Fig.3 は Leopold・Wolmanのデータを用いた曲率半径の理論による計算値と測定値との比較である。データには平均曲率半径が示されている。計算値は R_0 と R_m を求めそれらを結んだ線として表してある。

式(6) の蛇行波長の式を用いた計算値と交互砂州および自由蛇行河川の波長の多くの資料(交互砂州は芦田らほか6 文献, 自由蛇行はChitale⁷⁾, Schumm⁸⁾ の資料) に示された測定値との比較がFig.4 である。

以上の結果をまとめると次のようになる。(1) 河川の自由蛇行の平面形状はこの理論によってよく示され, *Elastica*の曲線に相似することが再確認された。(2) ここで用いられたような補正をすることにより, 実際の河川などにおける交互砂州および自由蛇行の波長がよく示される。(3) 自由蛇行の蛇行曲線の諸要素がこの理論によってよく説明される。

—参考文献— 1) Kimura, K et alii: The Consideration from the Energy Aspect on Free Meander and the Application, Proc. 6th Cong. APD-IAHR Kyoto, 1988. 2) 木村喜代治ほか: 交互砂州の波長と蛇行波長について, 年講, 平成2 年. 3) 木下良作: 石狩川河道変遷調査, 科学技術庁資料36号, 昭和36年. 4) 村本らの研究, 例えば: 河道の変動に関する研究(3), 京大防災研年報15号, 昭和47年. 5) 池田ら: 河川の蛇行に関する統一見解, 24 回水理講演会, 1980 年. 6) Leopold, L. et al: River Meanders, Bulletin GSA Vol. 71, 1960. 7) Chitale, S. V.: River Channel Patterns, Proc. ASCE Journal Hydraulic Div. 1970.

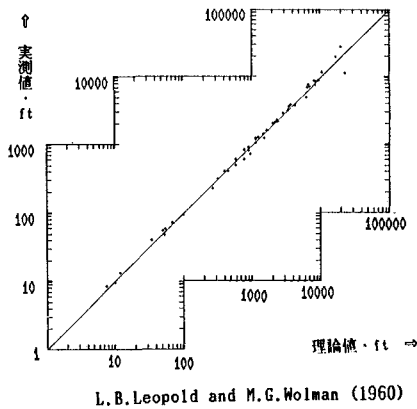


Fig.1- Comparison of amplitude for predicted values and observed values

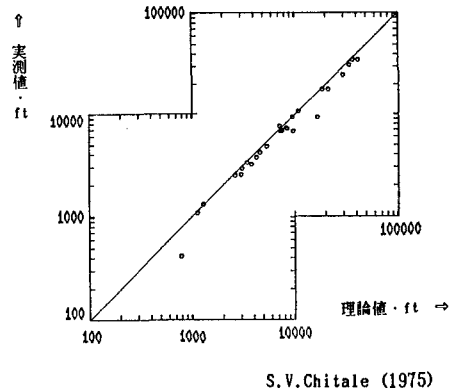


Fig.2- Comparison of amplitude for predicted values and observed values

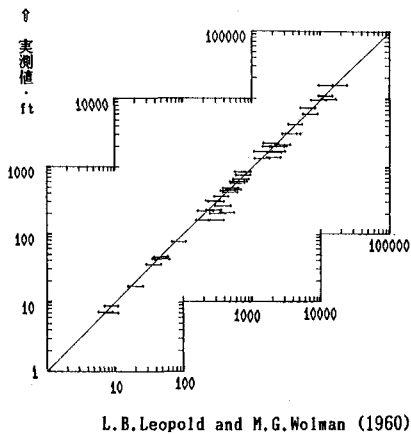


Fig.3- Comparison of mean radius of curvature for predicted values and observed values

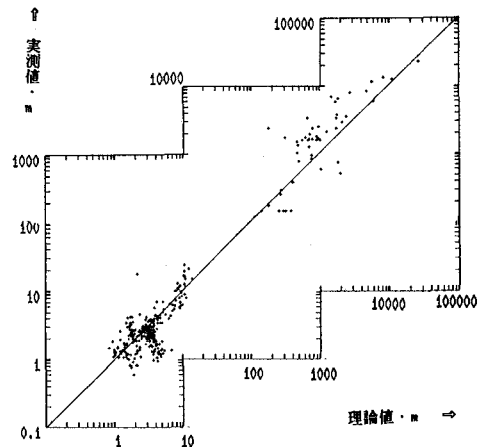


Fig.4- Comparison of wavelength for equation(6) and alluvial data