

細い水流の蛇行について

日本大学工学部 正員 〇木村喜代治
高橋 迪夫
長林 久夫

硬質透明塩化ビニール平板の斜面に、定常的に少量の水を流すと、その表面に沿った細い水流は蛇行して流下する。この蛇行形状は河川の自由蛇行にほぼ似た形状をとる。河川の自由蛇行の平面形状に関しては Langbein と Leopold の研究 (1966) がある。これは、河川の流れに関係する多くの要因が相互に干渉し、その結果として蛇行が形成されたと考えた。そして流路の決定が確率論的に取扱うものとし、von Shelling の平板上を一定速度で確率的に運動する粒子が描く最頻経路の理論 (1951) を適用した。Langbein らはこの理論と米国数河川の実例および Friedkin の実験 (1945) とを検討し、良く照合することをしてしている。

塩化ビニール板上の細い水流では平板の傾斜と流量とによって形成される流れの断面形は表面張力が影響し、流れによる水と平板との接触角の局所的な相違によって偏流を生じ、これと重力作用との関連によって、水流に蛇行を生ずるものと考えられる。そこで河川の蛇行に付し Langbein らが適用したのと同様に、細い水流の蛇行に von Shelling の理論を適用した。その結果、細い水流の蛇行曲線は理論曲線と良好な一致を見た。また実験の結果形成された安定蛇行曲線について平均曲率、屈曲度、最大偏角などを調査した。なお、先きに Langbein らの蛇行曲線と *Elastica* の曲線 (その他 *Hydrostatic curve*, 単振子など) との完全な相似性を示したか (1979), ここでもそれを利用し, *Elastica* としてスチールテープ片を用い, この蛇行曲線の調査, 測定に使用した。

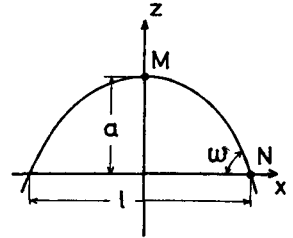


Fig. 1

理論式をまとめると次のようである

$$\frac{1}{\rho^2} \left(\frac{d\theta}{ds} \right)^2 - 2(\cos \theta - \cos \omega) = 0, \quad \Delta = \frac{1}{\rho} F(\phi, R), \quad \frac{l}{a} = \frac{1}{R} \{ 2E(\frac{\pi}{2}, R) - K(R) \}$$

$$R = \sin \frac{\omega}{2}, \quad \sin \frac{\theta}{2} = R \sin \phi, \quad \frac{1}{\rho} = \frac{a}{2R}, \quad \frac{1}{\rho} = \frac{2R}{a} \frac{\omega}{K(R)},$$

$$\rho_m = \frac{K(R)}{2E(\pi/2, R) - K(R)}$$

θ : 曲線の切線と x 軸とのなす角, Δ : M 点よりの曲線長, ρ : ds に対する偏角 $d\theta$ の標準偏差, ω : 最大偏角, F, E : 第 1 種および第 2 種不完全積分, $1/\rho$: 曲線半波長 l の平均曲率, ρ_m : 屈曲度。曲線の a と l の測定から (曲線の各要素のうち 2 個が決まれば曲線は確定する), 上式を用い ω が求まり, また $1/\rho, \rho_m$ などが計算される。

実験方法は硬質塩化ビニール平板を一定勾配で傾斜させ、その上端より一定流量の水を流す。このときに形成された水流形状を写真に取り、これを用いて解析した。(平板としてアクリル板およびガラス板を用いる予備実験を行なったが、塩化ビニール板の方が安定した形状が得られた。) 実験による蛇行形状の一部を Photo 1, 2 に示した。給水は平板の上端中央に内径 4mm のアクリル管より水を射出させて行なった。流量は末端で計測し、ほぼ 3.0 cm³/s と 6.0 cm³/s とである。

実験における水流の流況は、上端部にはほぼ直線状の助走部があり、続いて蛇行に移る。蛇行部は安定したもので流路が変わる不安定なものに続いている。この実験の範囲では、安定している蛇行部の長さは平板の勾配が緩やかな場合がより長く、急な場合が短い。しかし、勾配の極く小さい 4° 未満では安定蛇行は現れず、4° 程度の勾配がほぼ限界であると思われる。また流量の大きい方が助走区間が長く、また安定蛇行部は短い。

この実験での水温は $20^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$ であった。蛇行部の測定は、まず適当な転向部を設定し、その両を理論曲線の半波長間の形状とし、スチールテープを当て、その a , l を測定した。

Fig. 2~4 は平板の傾きとそれぞれの傾きに對する蛇行曲線の曲率の総平均 $\overline{[1/\overline{r}]}$, 平均屈曲度 $\overline{5n}$ および平均最大偏角 $\overline{\omega}$ との關係を示したものである。平均曲率は平板勾配の増加とともに一様に減少し、また流量の影響は大きい。すなわち勾配の大きな流量の多い方が流速も大きく、 θ が小さくなり、その結果蛇行スケールが大きくなるものと思られる。平均屈曲度は明瞭さを欠くが $1.3 \sim 1.5$ の間に多く分布し、全平均は 1.36 である(著者らの調査によると最上川の河口より 19.3 km の平均は 1.49 , 阿武隈川の河口より 19.6 km の平均は 1.17 であった。)。最大偏角は流量、平板勾配による影響は少なく、何れもほぼ 1.0 ラジアンである。すなわち蛇行の形状はほぼ相似である。

以上の結果をまとめると、表面張力が重要な因子であるような細い水流に用い、この実験の範囲では

- (1) 硬質透明塩化ビニール平板上の細い水流に蛇行現象が見られること。
- (2) この蛇行形状に von Shelling の確率理論が適用されること。
- (3) 流量、勾配にかかわらず平均の蛇行形状は、最大偏角がほぼ 1.0 ラジアン付近であること。
- (4) 曲率半径は流量が大きくなると、また勾配の大きい方が大きい。

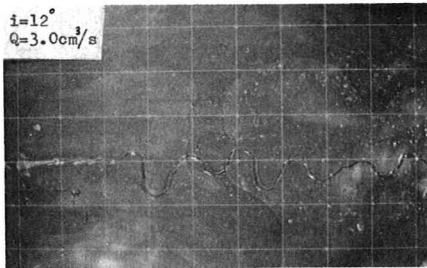


Photo 1

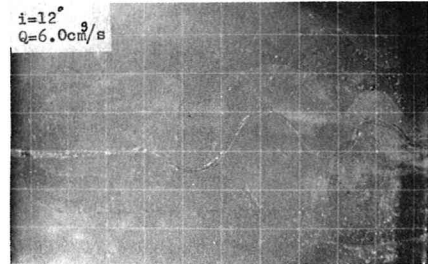


Photo 2

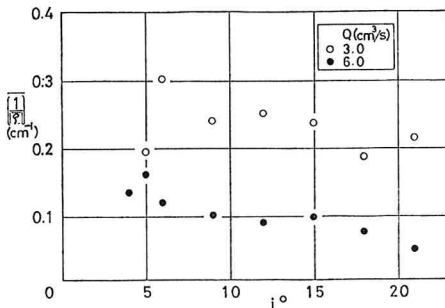


Fig. 2

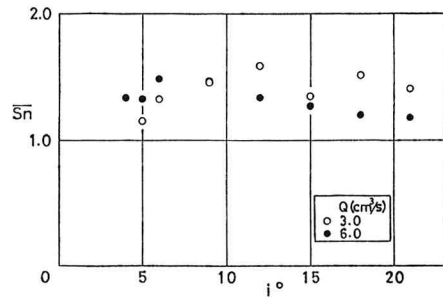


Fig. 3

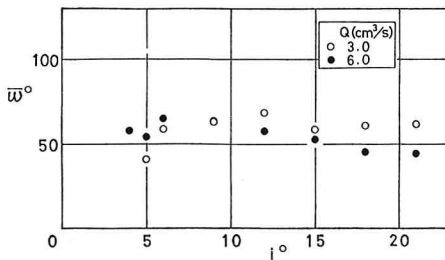


Fig. 4