

名古屋大学大学院 学生員 ○中藤達昭

名古屋大学工学部 正員 足立昭平

1. まえがき

昭和42, 43年度では完全自由沖積水路における Regime Theory の適合性を確かめるとともに, 流水に対する抵抗係数の時間的変動を調べ, 河床に生ずる種々の河床形態に基く形状抵抗係数が河床材料の平均粒径に関するフルード数と良好な相関を有することを報告した。本年度は沖積台形断面水路に一定流量通水した場合の流路拡幅の現象に注目し, 数種の実験結果から拡幅を考慮した河床変動の基本式の各項のオーダーを検討し主要項を明らかにした。なお基本式に含まれる流路幅 W の性格に因って更に検討を要する。

2. 実験内容および流況

実験装置, 方法は前回述べたようであり実験ケースは Table-1 に示す。水路の有効長は 15 m であり流路断面の測定は上流端

No. of Experiment	1	2	3	4
Discharge (ℓ/s)	2.0	2.4	1.0	1.5
Initial Bed Slope	$\frac{1}{100}$	$\frac{1}{100}$	$\frac{1}{50}$	$\frac{1}{50}$
Water Running Time (min.)	135	110	95	70

Table-1

から 8 m の地点で行ない, 測定断面の上下流各 1 m の位置で水面こう配の測定を行なった。なお通水後の河床縦断面図から判断してこの断面は上下流の影響が比較的小さく適当な断面測定位置であることが分った。いずれのケースに對しても約 30 分で水路中心部が蛇行を始め, その主流は約 1 時間経過すると水路両側を交互に侵蝕し典型的な蛇行現象が觀察された。この主流が凸岸部から横断方向に多量の砂を移送するため, 蛇行は発達の一途をたどり砂州の発生も見られた。

3. 河床変動の基礎式

河床の変動を取り扱うとき, その変動機構を把握するためにはどうしても解析的に論ずる必要がある。沖積水路を対象とすれば流水に伴う側方洗掘または崩壊はその変動機構に重要な役割を果たすことはいうまでもない。以下長方形断面の仮定の上に水流による流路幅の場所的, 時間的变化を考慮した河床変動の基本式を列挙する。

$$(1) \text{ 流水の運動方程式 } -\frac{\partial z}{\partial x} - \frac{\partial D}{\partial x} + \frac{v^2}{gD} \frac{\partial D}{\partial x} = \frac{u_*^2}{gR} - \frac{v^2}{gW} \frac{\partial W}{\partial x} + \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} \quad \text{----- (1)}$$

$$(2) \text{ 流水の連続式 } \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad \text{or} \quad \frac{\partial(\ln D)}{\partial t} + \frac{\partial(\ln W)}{\partial t} = -\frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial x} \quad (A=WD) \quad \text{----- (2)}$$

$$(3) \text{ 河床の連続式 } \frac{\partial z}{\partial t} - \frac{z_3 - z}{W} \frac{\partial W}{\partial t} + \frac{1}{W} \frac{\partial Q_s}{\partial x} = 0 \quad \text{----- (3)}$$

$$(4) \text{ 流砂量方程式 } Q_s \propto \alpha U_*^{2.5m} \quad \text{----- (4)}$$

ここに, x : 流路に沿う流下距離, z : 基準線から河床面に到る距離, z_3 : 基準線から側岸に到る距離, D : 水深, v : 平均流速, u_* : 摩擦速度, R : 径深, W : 流路幅, t : 時間, A : 流積, Q : 流量, Q_s : 流砂量, α & m : 定数

4. 実験結果および order estimation

本実験における流水に伴う流路幅 W と水深 D の時間的变化と図示したのが Fig. 1 である。このデータから約 30 分後における変化の最大値を使用して $\Delta(\ln W)/\Delta t$, $\Delta(\ln D)/\Delta t$ のオーダーと比較す

ると $\partial(\ln W)/\partial t \approx O(10^{-5})$, $\partial(\ln D)/\partial t \approx O(10^{-4})$ となる。従って (2) 式の流水の連続式はつぎのようになる。

$$\frac{\partial(\ln D)}{\partial t} = -\frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial x} \quad \dots\dots\dots (2')$$

(2') 式において $\Delta x = 200 \text{ cm}$ (水面より配測定区間), $A = 40 \text{ cm}^2$, $Q = 2.0 \text{ l/s}$ のとき $\Delta Q \approx 0.002 \text{ l/s}$ と仮すから本実験では $Q = \text{const.}$ と看做して差し支えない。また各水理量の距離的, 時間的变化の最大値を使用して (1) 式の各項のオーダーと比較すれば, $\partial z/\partial x \approx O(10^{-2})$, $\partial D/\partial x \approx O(10^{-4})$, $\frac{1}{50} \partial D/\partial x \approx O(10^{-4})$, $\frac{\partial}{\partial t} \partial(\ln W)/\partial t \approx O(10^{-5})$, $\frac{1}{5} \partial v/\partial t \approx O(10^{-6})$ となり流水の運動方程式は次式で表わされる。

$$-\frac{\partial z}{\partial x} = \frac{U_*^2}{gR} \quad \dots\dots\dots (1')$$

つぎに Fig. 2 に示す測定断面の平均河床高の時間的变化から $\partial z/\partial t \approx O(10^{-3})$, $(z_s - z) \partial(\ln W)/\partial t \approx O(10^{-5})$ なることがわかるので (3) 式の流砂の連続式は次式で与えられる。

$$\frac{\partial z}{\partial t} = -\frac{1}{W} \frac{\partial Q_s}{\partial x} \quad \dots\dots\dots (3)$$

いま (4) 式で $m = 1$ が近似できるよう

定数 K を選定すると (1'), (3), (4) 式より河床変動の基本式がつぎのように示される。

$$\frac{\partial z}{\partial t} = \frac{K}{W(x,t)} \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} \quad \dots\dots\dots (5)$$

(5) 式における $W(x,t)$ は x と t の関数であると考えられるからその形が与えられると (5) 式は数理的には解けるわけである。一例として $W(x,t)$ が x のみの関数 $g(x)$ で表現される場合を考察すると, 境界条件, $z(0,t) : \partial z/\partial x = -S_1 = \text{const.}$, $z(l,t) : z = z_0$, 初期条件, $z(x,0) : z = f(x) = \bar{z} - S_0 x$ に対し (5) 式の解はつぎのように表わされる。

$$z = z_0 + S_1(l-x) + \frac{4(a+bl)}{\pi} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{(-1)^m}{2m+1} e^{-K \left(\frac{2m+1}{2l} \pi \right)^2 \int_0^t \frac{1}{g(\tau)} d\tau} \cdot \cos \frac{2m+1}{2l} \pi x - \frac{8bl}{\pi^2} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{2m+1} e^{-K \left(\frac{2m+1}{2l} \pi \right)^2 \int_0^t \frac{1}{g(\tau)} d\tau} \cdot \cos \frac{2m+1}{2l} \pi x \quad \dots\dots\dots (6)$$

ここに $a = \bar{z} - z_0 - S_1 l$, $b = S_1 - S_0$ であり上式は $W(x,t)$ に大胆な仮定を設けた場合の解であるが, 沖種水路の河床変動に関する一次元解析の方向を示唆するものであろう。 $W(x,t)$ の性格の吟味をあたっては側方侵蝕材料構成モデル化, 次元解析的手法等が考えられるが, 更に充分な検討が加えられる必要がある。なお流路が蛇行を開始してからも流路幅 W が時間とともに良好な相関を有するという実験事実から W の x 方向に対する変化の割合が明確にされると $W(x,t)$ 自身が流路蛇行の成因に關して有力な目安を与えるものと思われ, 今後の研究課題としたい。最後に本研究は文部省特定研究の一部であることを附記して謝意を表すると共に実験に協力を戴いた山住則夫君に感謝する。

