

九州大学 正員 橋 東一郎

" 学生 吉岡邦明

" 学生 〇池田正雄

1 緒言. 河川には浸食と堆積の作用があり、永年わたってみるとき大きな変化をして、ついには平衡な状態に達する歴史があると言われている。これまで蛇行研究のための室内実験として行なわれてきた自由蛇曲水路の流れの発達過程は、この河川の歴史に似た現象を示しているように思え興味深いものがある。この実験に於て見られる振幅現象は、側岸浸食の機構の解明や横方向からの流入砂を考慮した場合の河床変動の解明のための良い素材となり、更にそれが砂礫堆の発生と流路の蛇行とどのような関連性をもちながら進行しているのなという問題を提起していると思う。

最近、山岡氏¹⁾や足正氏²⁾によって、水路の振幅を含めた流路の生成過程についての実験的研究が行なわれているけれども、現象が複雑なために未だ疑問点が多い。本文では、山岡氏の実験に比し流量と初期水路幅を増した同手法の実験を行って、その流況と砂礫堆が発生するまでの比較的一様な側岸浸食についての若干の考察を行ったものである。

2. 実験装置と概要 有効長15m、水路幅120cmの実験水路に平均粒径0.83mmの均一砂をしきつめ、1/50から1/60まで五種類の河床勾配をつくることのできる台車を水路中央に小さな通水路をもうけて流水する。上下流端の影響が入らないようにするために、測定地帯を上流端より8mにもうけ、一定時間毎に物差しを用いて川幅、水深、流路横断面形を測定した。又流れ方向への川幅の変化を測定するとともに、水面形は河床中に埋めた静圧管で、流速は紙を流して表面流速を測定した。実験の概要は表-1に示してある。

実験No.	1	2	3	4
流量(m^3/s)	3.0	2.2	2.65	2.74
初期河床	1/100	1/200	1/400	1/200
初期断面形(CM)		左に同	左に同	
通水時間(分)	60	90	90	90

表-1

3. 実験結果の考察 砂礫堆を伴った流況については、木下氏³⁾らによって詳しく観察されているが、本実験でもほぼ同様の現象が見られた。通水当初、不自然な断面におし込められた流れは流路全体から多量の砂を掃流し、側岸の崩壊は急である。河床はほぼ平滑で、流線も直線であり、側岸の浸食はミクロにみれば不規則であるが、流れ方向には一様であり、川幅は直線形を保ったまま振幅され、それに伴って水深は減少し、15~30%の割合まで行なわれている。

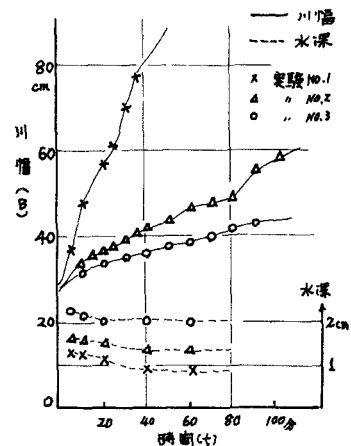
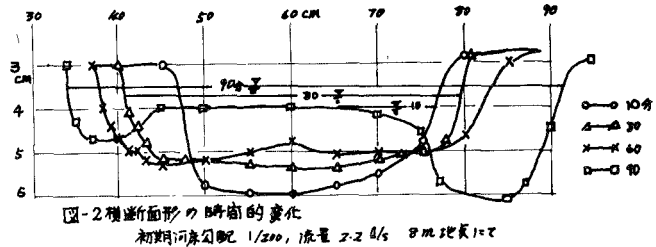


図-1. 川幅と水深の時間的变化 (5m地点)

川幅が増大し水深が減少したある時点から、水路床に三次元的な砂礫堆が形成され、発達してゆく。流れはかなり規則正しく蛇行しているが、砂礫堆が発達するにつれて変化し複雑な流線を描くように

なる。これ以後、川幅の拡大は右図のスケッチの如く、蛇行する流水が側岸に衝突してなされ、時間的にも場所的にも様でなくなり、進行する砂礫堆に關係していて、本文次節でとりあつかう初期の拡張とは機構を異にしているように思われる。以上の事は図-1からも見る事ができる。実験NO.3は砂礫堆が形成されたけれども高さが小さく、流水をゆすかに蛇行させただけであって川幅は一樣に拡張している。NO.2は通水後40分までは一樣な拡張、それ以後砂礫堆が形成され充分に発達したものの影響を受けた80分ころから流水の衝突に会って大きく拡張されている。



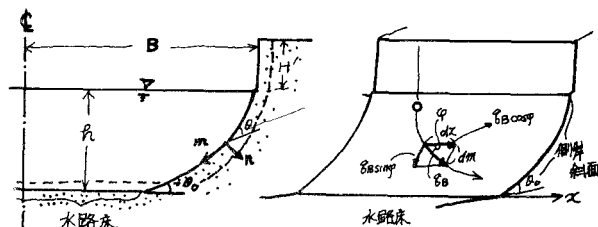
NO.1は10分で砂礫堆が形成され、これ以後は時間的に様でなくなっている。

図-2に示されている断面形の時間的变化は、U字形から次第に扁平な台形となっており、河川の中流から下流への断面形の変化を思わせるものがある。河床は上昇しており、側岸浸食された量とほぼ等しく、側岸で浸食された砂が河床に堆積していると考えられる。90分の断面形には深堀れと堆積の部分が明瞭にみられ、砂礫堆が存在していることを示している。水面高さは上昇するが、水面勾配は時間的に一定と考えてよいようである。流速は蛇行流発生まではほとんど変動しないが、顕著に蛇行しはじめると時間とともに減少している。

木下氏は砂礫堆の形成される条件をいくつか示しているが、その一つに「水踏幅に対する水深がある深さを越えると蛇行しない³⁾」として川幅 B と平均水深の比 B/h_m の値を実験的に求めている。本実験では通水後すぐにこの条件内にあり、蛇行が発生してもよいように考えられたが実際には少し遅れて発生している。従って砂礫堆の形成条件に、掃流される砂量や、側岸から崩壊する砂の影響があるのではないかと考えられ、今後実験をつみ重ねて調べてみたいと思う。

4 拡張の解析について

砂礫堆が形成される以前の流れ方向にも一樣とみなされる拡張について解析してみたいと思うが、この側岸浸食も、流れ方向の流体力の斜面方向成分が作用するだけではなくて、側



岸付近の二次流や、水面上にある砂の崩壊などの不連続的要素を含み、かつ断面形は力学的に決めることが出来ず、河床と側岸の区別など明瞭でない等々で解析は困難な点が多い。

しかし、いずれにしても側岸の砂も流体力を受けて、図-3のモデルに示したような経路をたどってやがては水踏床に運び込まれるであろう。その間隙を埋めるようにして上から砂がすり落ちて来て、全体として側岸が後退してゆくと考え。側岸の砂は、水面上ではほぼ鉛直をなし、水面以下で

は曲線状の側岸斜面をつくり、その先端で θ_0 の角度をもって水路床につらなっていると考える。

流砂量の連続の条件より側岸斜面の河床変動の式を求める。斜面にそって m 、それの鉛直方向に n をとり、斜面上を運ばれる流砂量を g_B 、 x 軸とのなす角を φ とすると、 $dx \times dm$ なる微小面積における流砂量の連続条件は

$$\frac{1}{1-\lambda} \left\{ \frac{\partial}{\partial m} (g_B \sin \varphi) + \frac{\partial}{\partial x} (g_B \cos \varphi) \right\} = \left(\frac{\partial n}{\partial t} \right)$$

川幅 B の時間的変化の式は

$$\frac{\partial}{\partial t} (BH') + \int_0^l \frac{\partial n}{\partial t} dm = \frac{1}{1-\lambda} \left[g_{B0} \sin \varphi_0 + \int_0^l \frac{\partial}{\partial x} (g_B \cos \varphi) dx \right]$$

となるが、斜面形状を決めなくてはならないために解析はさきめて困難であり、又斜面形状の時間的な変化が比較的小さいので、ここでは最も簡単に 斜面は相似の形を保ちながら一様に後退し、水路床は一様に上昇するものと仮定する。更に流砂量 g_B が x 方向に変化しないと仮定する。このとき近似的に

$$\frac{d}{dt} [B(\alpha h + H')] = \frac{1}{1-\lambda} \cdot g_{B0} \sin \varphi_0 \quad \text{①}$$

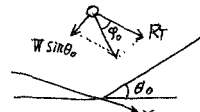
が成立するものとする。ここに、 h は水深、 H' は水面上の砂の高さ、 g_{B0} は側岸斜面先端での流砂量、 φ_0 はそこでの x 軸とのなす角、 α は補正係数である。

①式で問題となるのは g_{B0} と $\sin \varphi_0$ であろう。斜面先端(角度 θ_0)上の砂粒は、流体力 $R_T = \frac{1}{2} \rho U_*^2 \frac{d^2}{4}$ と砂の水中重力の斜面方向成分 $W \sin \theta_0$ の方向に動くとすると

$$\tan \varphi_0 = \frac{\frac{\pi}{6} S g d^3 \sin \theta_0}{U_*^2 \cdot \frac{\pi}{4}} = \frac{S g d^3}{U_*^2} \cdot \frac{\pi}{6} \cdot \eta \sin \theta_0 \quad \text{②}$$

$S = (0.9 - P)/P$, $U_*^2 = \sqrt{g h i}$, d : 砂の粒径,

η : 単位面積当りの突起砂粒数と d^2 の積,



実験結果を見ると、最初 45° の側岸斜面は急激に崩壊して、その後 $\theta_0 = 7^\circ \sim 3^\circ$ に保たれており、 $S g d / U_*^2$ はほぼ 10 程度である。

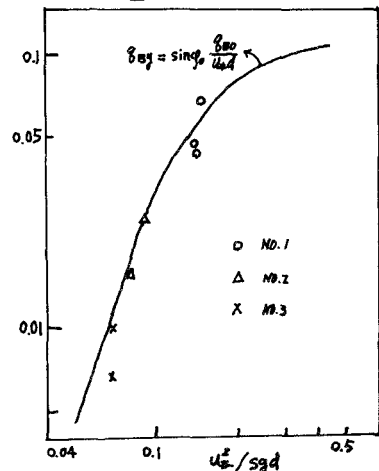
従って $\theta_0 = 5^\circ$ と仮定すると

$$\tan \varphi_0 = 0.456 \eta$$

となる。係数 η については White は 0.4 を与えたが、最近岸は $\eta = 0.25$ が最も適当であるとしている。従ってこの値を用いると $\tan \varphi_0 = 0.114$ ($\sin \varphi_0 = 0.113$) となる。

g_{B0} については、合力 $(R_T^2 + W^2 \sin^2 \theta_0)^{1/2} \approx R_T$ に規定されるとみなされるから、普通の流砂量公式を用いることができる。 g_{B0} として Einstein の式を用い、 $\sin \varphi_0 \approx \tan \varphi_0 = \frac{S g d}{U_*^2} \cdot \frac{\pi}{6} \cdot \eta \sin \theta_0$ として算出された $g_{B0} \sin \varphi_0 = g_{B0}$ (角度 θ_0 なる側岸斜面先端部より水路床に運ばれる流砂量) を $U_*^2 / S g d$ に対して描いたのが図-4 の曲線として記入してある。図中の点は、図-2 の断面図で浸食されたと思われる側岸の面積を流砂量に換算して、そのと

図-4



きの u_*^2 / sgd に対して plot したものである。かなり適合しているので、斜面先端から水踏床に入る流砂量 q_0 を $q_0 \sin \varphi_0$ で表現しても無理がないように思える。

q_0 は $u_*^2 = ghi$ の関数であるから、結局

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{dt} [B(\alpha h + H')] = \frac{1}{1-\lambda} \cdot q_0 \sin \varphi_0 \quad \text{①} \\ Q = B h \varphi \sqrt{ghi} \quad (\varphi = u/u_*, \lambda, \text{工機比勾配}, Q: \text{流量}) \quad \text{②} \\ \text{流砂量公式} \end{array} \right.$$

とを連立して解けば、川幅 B と時間 t との関数形が原理的には求められる。

一例として、 H' , φ , λ を時間的に一定とみ、流砂量公式の一般形

$$\frac{q_0}{u_*^2} = K \left(\frac{u_*^2}{sgd} \right)^m \left(1 - \frac{u_*^2}{u_*^2} \right) \quad m=1 \text{ とする}$$

を用いて得られる B と t との関数形は次の様になる。($t=0$ で $B=B_0$ として)

$$\begin{aligned} t &= \frac{3(1-\lambda)}{4K_2^2 \sin \varphi_0} \left[-2K_1(K_3K_2 - H'K_1) \ln \left(\frac{K_1 - K_2 B^{3/2}}{K_1 - K_2 B_0^{3/2}} \right) + 2K_1(K_3K_2 + H')(B_0^{3/2} - B^{3/2}) - K_2 H'(B^{3/2} - B_0^{3/2}) \right] \\ K_1 &= \frac{K d g^{1/2} i^{3/2}}{s d} \times \left(\frac{Q}{g \sqrt{g i}} \right) \\ K_2 &= \frac{K d g^{1/2} u_*^2 i^{1/2}}{s d} \left(\frac{Q}{g \sqrt{g i}} \right)^{1/2} \\ K_3 &= \frac{\alpha}{3} \left(\frac{Q}{g \sqrt{g i}} \right)^{3/2} \end{aligned}$$

参考文献

- 1) 水路蛇曲に関する一実験 (北大・長谷川・山岡) [土木学会第23回講演会概要]
- 2) 冲積水路の拡幅に関する実験的考察 (名大・中藤 足立) [土木学会第24回講演会概要]
- 3) 石狩川河道変遷調査 [科学技術庁資源開発資料第36号、昭和36年]