

II-32

自由蛇行に関する実験的研究

北海道大学工学部 学生員 久保 篤史
 北海道大学工学部 学生員 大川 秀典
 北海道開発局開発土木研究所 正員 鳥谷部 寿人
 北海道大学工学部 正員 清水 康行

1. はじめに

自然河川の蛇行河道は流下方向へ前進しながら振幅を拡大し、大きく曲がりくねり、最終的には自然短絡に至るという発達過程をとる。また、中規模河床形態の発達による流路の平面形状と流心線の偏倚集中の大きい部分ほど浸食速度が大きくなることが、蛇行の発達に影響を及ぼすとして知られている。本研究は、蛇行の発達過程に着目し、その流路変動を実験によって再現し、様々な現象を観測するとともに線形偏倚流方程式によって求めた流速の偏倚によって平面変動計算を行い、実験との比較を試み、その相違などについて検討を行うことを目的とする。

2. 実験の概要

2-1. 実験の目的

自由蛇行の発達に関するは他にも行われており、このうち平成6年度には高沢ら¹⁾によって均一粒径の河床材料を用いて行われた。高沢ら¹⁾の実験では時間とともに河幅が広がり、河幅水深比が一方向的に増加するという報告がされている。また平成7年度の大川ら²⁾によって混合粒径の河床材料を用いて行われた実験では河幅水深比が一方向的に増加する現象は見られず、より実河川に近い状況を再現することが出来た。

本実験は上記の両実験とは水理条件はほぼ同じとし、初期河道平面形状のみを大きく変化させて行われた。またこの結果をふまえ初期河道形状をさらに変化させた場合の予測計算を行い、その変化が蛇行の発達と減衰にどのような影響を及ぼすかを調べた。

2-2. 実験条件の設定

実験条件は主として以下の項目を考慮して設定した。

①実験水路の初期平面形状は概ね実河川の平面形状を表すとされているSine-generated Curveの式を用いる。

②表-1に本実験と昨年度行われた大川らの実験の初期条件を示す。水理条件は前年度の蛇行実験と同じであり、同様な縦断形状で水路幅(2B)30cmの固定壁水路では河幅水深比($\beta=B/D_0$, D_0 :平均水深)が10となり砂州が発生するような条件である。ただし、流量と勾配については当初、実験中に変化させない予定であったが、水路が直線化してしまったため、変化させている。

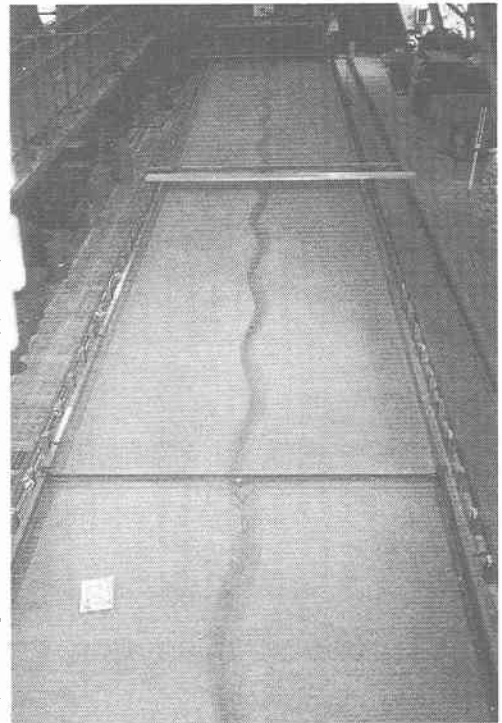


写真. 初期河道形状

表-1. 初期実験条件

	流量 (l/s)	架台勾配	最大蛇行角 (deg)	蛇行波長 (cm)
本実験	1.5	1/159	11.465	188.40
大川ら ²⁾ による実験	1.5	1/161	28.662	471.00

2-3. 実験装置及び実験方法

長さ25メートル、幅3メートルの実験架台に概ね15cm厚で、東北珪砂3号、同5号、及び同特8号を、表2における比率で配合した河床材料を敷きならした。通水溝を初期蛇行形状に沿って切り、流量を流した。なお、初期の通水溝の断面形状が流路の蛇行の状態に及ぼす影響の有無が懸念されるが、広すぎて砂が移動しないような断面でない限り、最初の断面形状には関係せず溝の断面積によって流量の範囲を規制するのみであることが、前年度までの実験等により分かっている。

一定時間ごとに写真撮影を行って平面変動の状況を観察したが、ある時間に達すると凹岸の水衝部で氾濫が起り側岸を乗り越えて流れてしまうので、この状態に達した時点で実験を終了した。本実験ではそれぞれ、30分、60分、120分、557分、680分後および氾濫が起こった912分後に河床が変化しないように通水を中止し、排水し、ポイントゲージを使用して河床高の測定を行い河床形状を求めた。流況はビデオ撮影を行うこととし、流速、流向はステレオ写真解析によりベクトルを図化した。

2-4. 実験結果と考察

今回は側壁のない自由蛇行実験であるため、河幅は徐々に広がり、流速も次第に減少した。この結果河幅水深比も時間的に変動してしまうため、必ずしも砂州、非砂州どちらかの領域のみにとどまっているとは言えない。今回の実験の河幅水深比 β の時間的変化(曲頂部のみ)を図-1に示す。また、今回は初期の条件で蛇行が発達せず、直線化してしまったため、水理条件を変化させた。水理条件の時間推移を表-3に、

曲頂部における河床横断形状の時間的変化を図-2に示す。ここで、縦軸は整地面を基準とした河床の深さ、横軸は左岸側の側壁からの距離を表している。120分までは河幅の増大はほとんど見られず、徐々に砂州が流され直線化に向かっている。125分過ぎから流量を増やし、190分以降に給砂を開始し、上流付近の勾配をつけてみたが、変化は見られなかった。353

表-3. 水理条件等の時間推移

通水累計時間(分)	架台勾配	流量 (l/s)	給砂量 (cm ³ /s)	流砂量 (cm ³ /s)
30	1/161	1.343	0	2.33
60	1/161	1.410	0	2.50
120	1/161	1.412	0	0.72
125	1/161	1.415	0	1.91
190	1/161	1.979	0	1.91
353	1/161	1.979	1.25	1.91
420	1/137	1.979	2.27	1.91
557	1/137	1.494	1.67	1.91
680	1/138	1.492	1.67	1.16
912	1/137	1.519	1.67	1.41

表-2. 河床材料配合比

試料名	配合割合 (%)	50%粒径 (cm)
東北珪砂3号	57	0.135
東北珪砂5号	27	0.054
東北珪砂特8号	16	0.005
河床材料	100	0.095

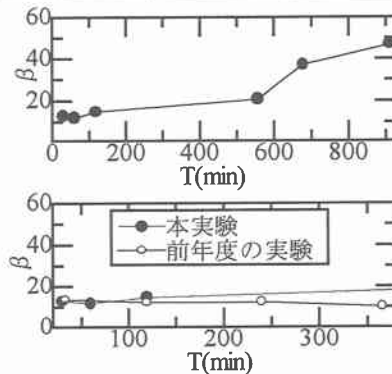


図-1. 河幅水深比 β の時間変化

分後には架台勾配を緩め、流速を小さくし、河床の深い方を流れるようにすると、徐々に外岸が浸食され時間とともに河幅が増大し、河床が浅くなっているのが分かる。

3. 線形偏倚流方程式による平面変動計算

3-1. 今回行った計算

流路の平面形状と流心線形状のずれによって側岸浸食が生じ、流心線の偏倚集中が大きいほど浸食速度が大きいとした蛇行変動モデルは長谷川ら³⁾によって提案され、実際河川の流路変動についての追跡、予測も既に数多く試みられている。

今回は、高沢ら¹⁾が行ったものと同一の手法を用い、実験上減衰を示した120分までの流路変動についての追跡と、480分後までの予測を行った。また、結果をふまえ、最大蛇行角及び蛇行波長をそれぞれ変化させた条件における予測計算を試みた。

3-2. 実験流路への適用

図-3に実験の流路変動と計算による流路との比較を示す。これは長谷川ら³⁾が谷軸方向流れの平均流速 U_0 および河幅 B を一定と仮定し河岸浸食速度を求めているが、本実験結果では、 B は一定ではなく浸食速度の大きい場所ほど広くなり流速も場所によって異なることから、高沢ら¹⁾と同様、6分の時間ステップ単位で計算を行い、1ステップごとに浸食速度に比例した変動量を算出し河幅の拡大分として1ステップ前の時間の河幅に加算することによって各断面ごとの新しい河幅を求めることとした。なお、流量 Q 、水深 H_0 、谷軸勾配 I_0 は従来どおり一定とし、各断面ごとに等流とみなして算出した。

計算値は実際の流路内を通り、ほぼ実験結果と一致しているのが分かる。河幅を一定とした計算でもほぼ一致しているが、これは、図-1と図-2からも分かる通り120分までは河幅の増分が小さいためであると思われる。河幅を変化させた計算では下流への移動はほとんど見られなかった。なお、平面変動計算で用いた洗掘係数、河岸浸食の比例定数については実験によってえられたデータにもとづいて算定した値を用いた。

3-3. 予測計算

今回の初期実験条件においては、蛇行は発達せず減衰してゆく形となったが、ここでは初期条件において、蛇行角および蛇行波長を変化させた場合における平面変動計算を行った。図-4はこの実験において、120分以降でも初期条件のまま継続して480分後まで通

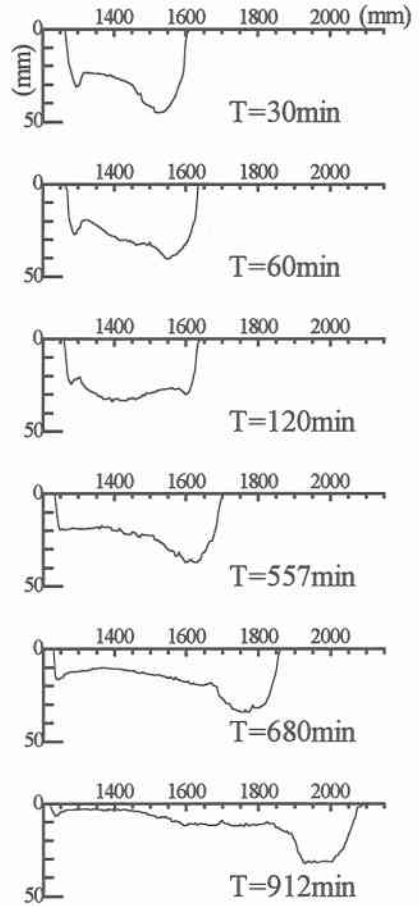


図-2. 河床横断形状の時間的变化

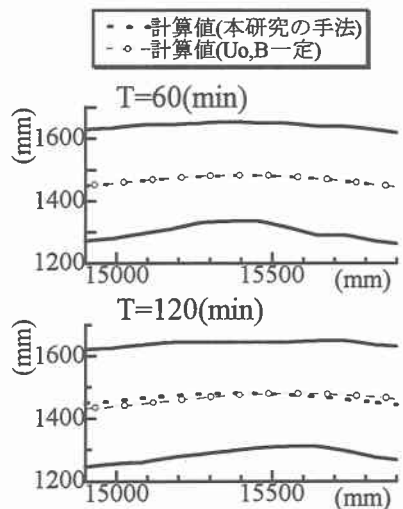


図-3. 流路変動の実測と計算との比較

水した場合の流路変動予測であるが、流路の直線化が進んでいるのが分かる。図-5は他の条件は変えず、最大蛇行角 θ_0 のみをそれぞれ 10° 、 20° 、 30° とした場合において、480分後の蛇行の変化を調べたものである。 $\theta_0=30^\circ$ となっても蛇行が減衰してゆくの分かる。、図-6は同じく蛇行波長 L をそれぞれ実験値の1.05倍、1.1倍とした場合において、480分後の蛇行の変化を調べたものである。蛇行波長 L を1.05倍に拡大するだけで図-4、図-5の条件では全く発達する気配が見られなかった流路が発達しているようすが分かる。

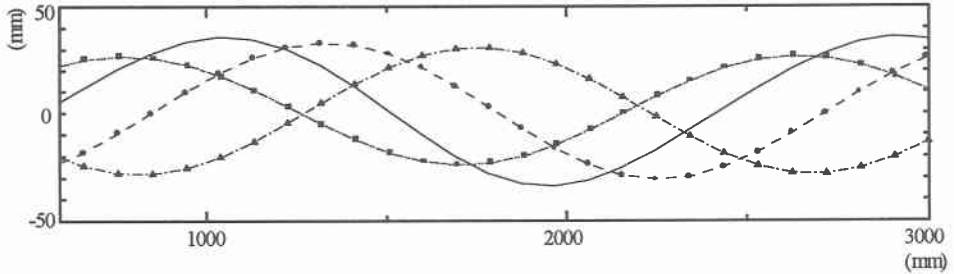


図-4. 実験の予測計算

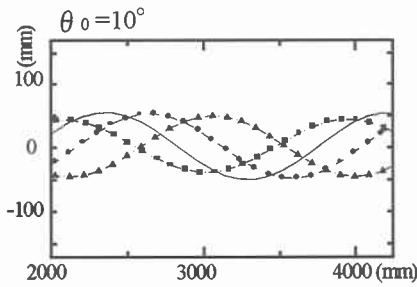


図-5.1

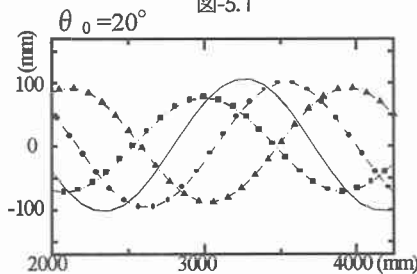


図-5.2

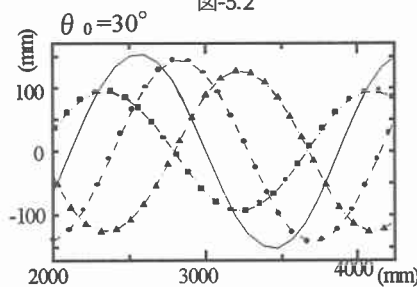


図-5.3

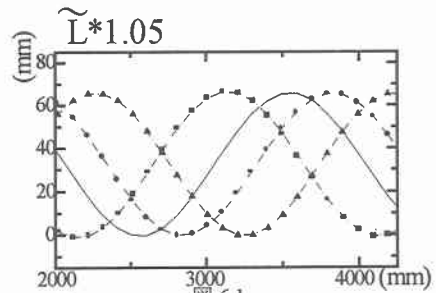


図-6.1

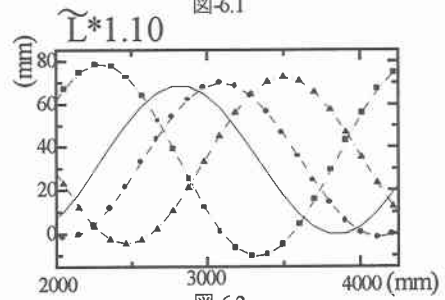


図-6.2

図-5. 蛇行角を変化させた時の変動計算

図-6. 蛇行波長を変化させた時の変動計算

3-4. 考察

ここで、実験で用いた値について長谷川⁴⁾の正偏倚の条件式を適用する。条件式は以下の通りである。

$$L_c = \frac{\tilde{B}}{\sqrt{\frac{l}{8\left(\frac{\pi}{4}A_0 + l\right)} \left\{ \sqrt{8\left(\frac{\pi}{4}A_0 + l\right)\left(\frac{\pi}{4}\gamma A_0 - l\right)\left(\frac{f_0}{\pi\varepsilon}\right)^2 + l - l} \right\}}}$$

\tilde{B} : 河幅の1/2, A_0 : $A\pi/2$, f_0 : $2Cf$, ε : $2\tilde{H}/\tilde{B}$

ただし, $\gamma=4/3$, A : 洗掘係数, Cf : 摩擦係数, \tilde{H} : 平均水深

において、

$\tilde{L} > L_c$: 発達

$\tilde{L} < L_c$: 減衰

である。

本実験の水力条件は、

$$L_c = 2.4799(m)$$

となる。

右の図-7は上の式から得られる発達と減衰についての領域区分である。点Aから点Eはそれぞれ

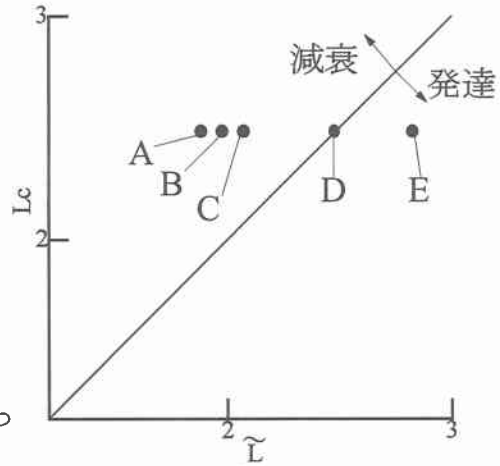


図-7. 発達と減衰の領域区分図

- A: 実験値およびすべての θ_0 の時
- B: 蛇行波長 \tilde{L} を1.05倍した時
- C: 蛇行波長 \tilde{L} を1.1倍した時
- D: 蛇行波長 \tilde{L} を1.315倍した時
- E: 蛇行波長 \tilde{L} を1.5倍した時

の点を示している。3-3で行った計算では、A以外は全て発達している。これは理論上は蛇行波長を1.315倍以上にすれば蛇行が発達することを示しているが、理論と計算結果にずれが生じている。これは両者における前提条件等の違いによるものと思われる。

4. 結論

最後に、今回の実験と平面変動計算の結果明らかになった諸点を以下に列記する。

- 1) 前年度の実験²⁾と同じ河床材料を使ったにも関わらず、砂の堆積がうまくゆかず、流路は直線化をたどった。
- 2) 前年度の実験の結果との違いは初期条件の設定によるものである。
- 3) 蛇行の発達および減衰を決定する要素として、蛇行波長はかなり重要であり、最大蛇行角はあまり重要ではない。

4)長谷川⁴⁾の条件式と今回の計算結果とに差が生じた。

〈参考文献〉

- 1)高沢寛，清水康行，長谷川和義，鳥谷部寿人：蛇行河川の流路変動に関する研究，土木学会北海道支部論文報告集 第51号，1995.
- 2)大川秀典，清水康行，長谷川和義，鳥谷部寿人：蛇行河川の流路変動に関する研究，土木学会北海道支部論文報告集 第52号，1996.
- 3)長谷川和義，伊藤仁：蛇行流路の経年変動に関する電算機シミュレーション，土木学会北海道支部論文報告集 第34号，1978.
- 4)長谷川和義：沖積蛇行の平面および河床形状と流れに関する水理学的研究，北海道大学博士論文，1983.