

II—15 交互砂州が存在する側岸粘性流路の変動に関する実験的研究

北見工業大学工学部 正会員 内島邦秀
北見工業大学工学部 正会員 早川 博

1. はじめに

非粘性材料を用いたこれまでの多くの自由蛇行実験によって、直線流路から蛇行流路に至る流路変動は一般に次のような過程をたどる。(i) 直線流路に交互砂州が発生・発達して平衡状態に達し、砂州は固定化する。(ii) それに伴って交互砂州上の水流が著しく蛇行し、側岸に水衝部を形成する。(iii) 水衝部で側岸浸食が進行し、蛇行流路が形成される。しかしながら、従来の同一非粘性材料を河床、側岸に用いた実験においては、蛇行流による側岸浸食土砂が蛇行流路形成の初期段階でどのように挙動して蛇行流路の発達に寄与するかを定量的に把握することは困難である。一方、現実問題として、自然河川の河岸領域は一般に粘性材料で構成されている場合が多い。現在までに粘性材料を用いた交互砂州の存在しない流路拡幅過程の研究があり¹⁾、自由蛇行実験も試みられているが²⁾、後者については進展がもたらされていない。そこで本研究では、一つの試みとして、先ず非粘性材料を用いた側岸固定の直線移動床水路で平衡形状の交互砂州を形成させ、それを人工的に固定化した後、側岸を粘性材料で置き換えて、上記(ii),(iii)に関する流路変動の進行初期過程を定量的に明らかにする目的で実験を行った。以下、主として側岸浸食土砂の収支関係に基づいて考察する。

2. 実験装置と方法

実験水路は図-1の断面を持つ長さ 9m の循環水路で、先ず図-1(a)の側壁固定直線水路に砂を厚さ 5cm に敷き均して、表-1の条件で交互砂州を発生させた。通水時間20分で平衡形状の交互砂州が形成されたのは、水路下流端側の砂州3個のみであったので、それから上流側の砂州を人手で作成し、同一流量を約2分間通水して平衡形状の砂州を水路全面に形成させた。砂州を油性ボンドで固定化し、左右側岸沿いの河床及び水面の縦断形状は図-2のように測定され、平均の波高H、砂州長は表-1のとおりである。次に、側壁を取り除き、図-1(b)の陰影部分に表-2の砂州とベントナイトの混合材料を木製のこてで入念に締め固め、初期水面からの側岸高を各RUNとも

0.5cmにした。用いた砂と水理条件は表-1と同じである。混合材料の含水比は数種変えて予備試験を行い、締め固め易さとある程度の耐浸食性を考慮して決定した。混合はあらかじめ砂とベントナイトをコンクリートミキサーで約2分間行い、水を加えてさらに3、4分混ぜ合わせ、時折塊状のものを手で練り混ぜた。このような混合材料は大気中に放置する時間経過によってもその粘着特性を変えるため、混合してから側岸整形までの時間、整形後の通水開始まで

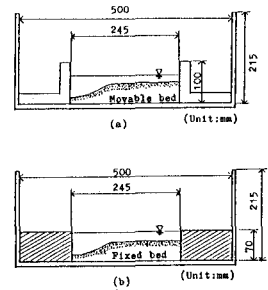


図-1 実験水路横断面図

表-1 実験条件及び測定諸量

Q (l/s)	I	h (cm)	d _m (mm)	$\sqrt{\frac{d_{84}}{d_{16}}}$	Specific gravity	q _B (cm ² /s)	H (cm)	l (cm)
1.80	1/60	1.70	1.42	1.27	2.52	0.144	2.30	101

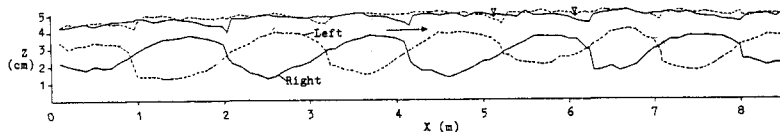


図-2 初期河床及び水面の左右側壁沿い縦断形状

表-2 側岸材料

RUN	Sand:Bentonite:Water (Weight Ratio)
1	100 : 5 : 10
2	100 : 7.5 : 15
3	100 : 10 : 20

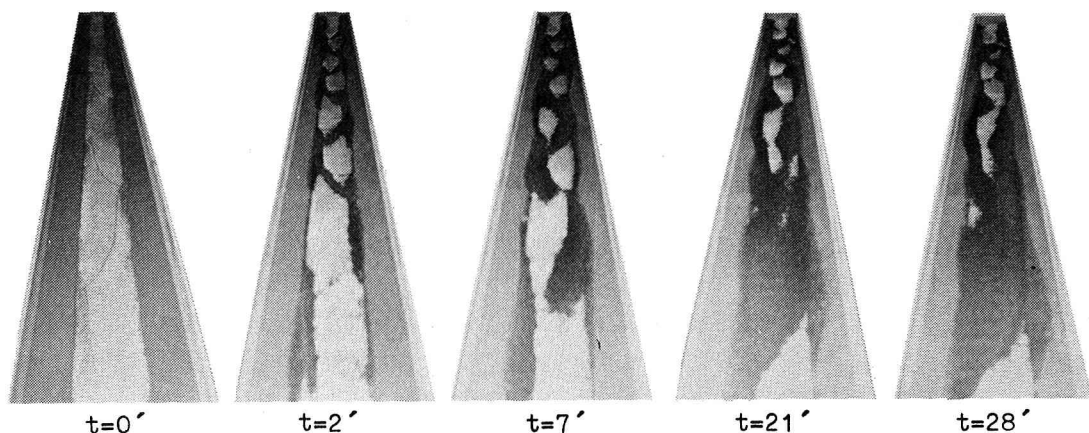


写真-1 流路変動と堆砂状況 (RUN 1)

の時間及び止水し流路横断形状等の測定時間をそれぞれ約 80分, 100分, 45分に定め, 各RUN統一して実験を行った。水位及び流路横断形状の測定は水路上流端から3.1m~6.4mの区間で行い, 水位は20cm間隔で, 横断形状は止水後10cm間隔でそれぞれポイントゲージと自製の河床形状測定器を用いて測定した。最終段階では側岸浸食土砂の堆砂状況を見るために垂直写真撮影を行い, 適宜水路全体の斜め写真撮影も行った。固定化した初期の交互砂州河床に白色ラッカーペイントを塗布して浸食土砂の移動状況を観察し易くした。給砂は行わず, 水路下流端で全流出土砂量を測定した。また, 最終段階で初期河床に堆積した土砂を自然乾燥した後, 家庭用電気掃除器で採取し計量した。RUN 1, 2, 3とも通水後それぞれ2, 3, 5分で一旦止水して側岸の浸食痕跡から水衝部の位置を測定した。なお, 各RUNともわん曲部頂点が水路側壁間近かにせまった時点で実験を打ち切り, 最終段階とした。

3. 実験結果とその考察

3.1 流路変動と堆砂状況

写真-1はRUN 1の初期から最終段階までの, 止水時に下流から撮影した斜め写真である。初期河床の砂州前縁法肩線を黒線で示した。水衝部位置測定時 $t = 2'$ までの浸食土砂の大部分は主流と同じ方向に流送され, 砂州先端直下の深掘れ部と砂州前縁に堆積する。その後しばらくの間同じ現象が継続し, 並行して水衝部が前進する。それに伴ってわん曲部も明瞭に現われ, $t = 7'$ で堆積土砂は初期河床と併合して横断砂州の様相を呈する。河床が横断砂州状になると, 浸食された土砂の大部分は同じ岸の下流に運ばれ堆積する。この時点でわん曲部の頂点はほぼ固定する(その位置は各RUNともほぼ初期砂州先端の対岸)。わん曲部の浸食が進行する $t = 21'$ 以降は主流に沿って堆積土砂が掃流され, わん曲部頂点の対岸で横断方向に張り出した堆積土砂は平衡を保ち, 寄州となる形状を示した。給砂を行っていないため, 流路上流端寄りでは堆砂は少ない。以上の進行過程はRUN 2, 3についてもほぼ同様であり, 砂州が水面上に露出する現象は見られなかった。また, 懸念された初期固定河床と側岸の境界における著しい段差は, 上流端から1箇所目のわん曲部のみであった。

側岸浸食土砂量は, 最終段階の初期河床上に堆積した土砂量と水路下流端全流出土砂量の和として求める。測定結果から, 側岸浸食土砂量の堆積率がRUN 1, 2, 3でそれぞれ61, 46, 37%と求められた。粘土含有率の小さいRUN 1は拡幅が早く, 水深が浅くなって掃流力が小さくなり, 多くの土砂が堆積する。また, 横断砂州形成後の河床上の堆砂量を測定横断面によって算出したところ, 各RUNとも最終段階までほぼ一定であった。したがって, 蛇行流路への発達初期においては, 側岸浸食土砂が堆積して横断砂州状になるまで水衝部が前進し, 横断砂州形成後は河床の平衡が保たれると同時にわん曲部頂点も固定し, 蛇行流路が発達して行くと推察できる。また, 最終段階のわん曲部凹岸の平面線形を円弧に近似して求めた交角の平均値

は, RUN 1, 2, 3
でそれぞれ23°, 27°,
28°であり木下, 三輪³⁾
が実際河川で調査した
砂州停止域に入り, 河
床が平衡という実験結
果と符合する。

図-3はRUN 3の
流路平面形状, 堆砂域
及び横断面形状を示し
たものである。横断面
図の水面は, 右が $t =$
67', 左が初期の平均水
位を示している。初期
側岸上の○印は水衝部
を示し, 砂州先端から
砂州長の3~5割上流
の位置で発生している⁴⁾。河床上の堆砂域は垂直写真を
もとに図示した。先述のように, $t=67'$ の堆砂域の形状
が寄州形成を示すことは, 横断面図から明らかに判る。
RUN 3ではベントナイト粒子の堆積が著しく, 5~6m
区間の堆積状況を写真-2に示す。灰色がベントナイト
粒子であり, 寄州の下流側で著しい。図-3には谷線も
示してある。流量が減少すればこの低位部に沿った流れ
となり, 堆砂域は大気中に露出し, ベントナイト粒子が
固結化して耐浸食性を増すことになる。自然河川におい
てもこのような微細粒子の堆積をとまなつて寄州が発達
するものと思われる。RUN 3の下流端流出土砂量を乾
燥させ, 砂とベントナイトを分離して両者の比を求めた
ところ, 重量比で砂100 に対しベントナイトは $t=0\sim 20'$
で15.3, $t=20\sim 45'$ で 2.2, $t=45\sim 67'$ で1.5 であつた。
浮遊して採取できない量もあり, この値を多少上回るで



写真-2 寄州 (RUN 3)

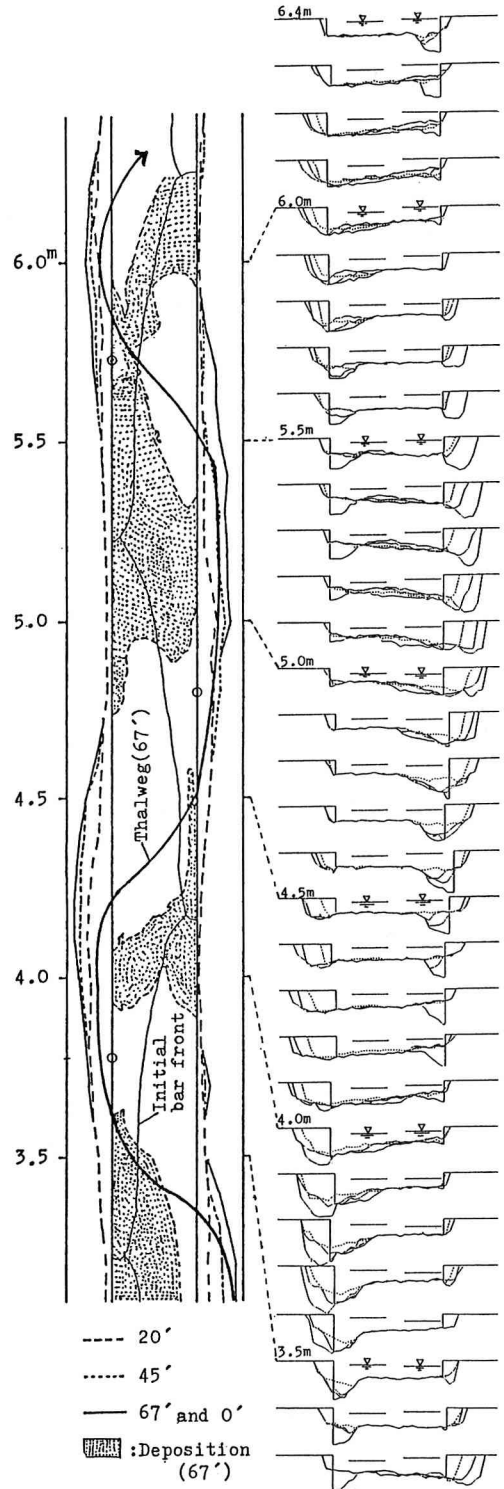


図-3 流路平面形状, 堆砂状況及び横断面図
(RUN 3)

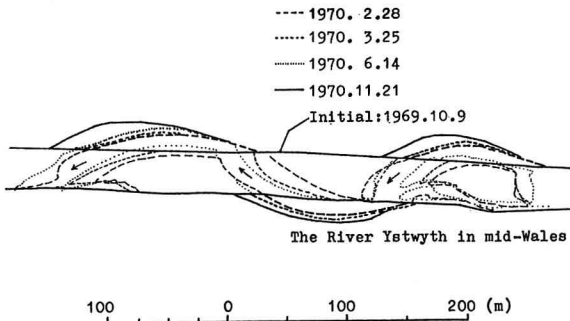


図-4 Ystwyth 川の流路変動⁵⁾

あろう。この測定結果は、横断砂州状の堆積が生じるまでの初期段階でベントナイト粒子が浮流し、わん曲部が発達するに従って堆積することを示している。粘着性ととも微細粒子の堆積が流路変動に大きく寄与すると考えられる。流路の蛇行波長は図-3で明らかのように初期砂州長の約2倍となる。図-4はLewin⁵⁾による人工的に直線化された実際河川の1年間に渡る流路平面変動の調査結果である。空中写真撮影によって調査され、初期断面は上底36m、深さ2.1mの台形で、勾配は1/270である。この調査研究においても、わん曲部形成の初期に横断砂州が観察され、蛇行波長(約270m)も初期砂州長(110m)の約2倍となることが報告されている。図-3と図-4の平面形状は相似であり、堆砂状況も酷似しており、本実験は実際河川の蛇行変動初期過程を追究する上で有効であると考えられる。

3.2 側岸浸食土砂量

側岸浸食速度は通水初期で大きく、浸食された土砂は河床に堆積し、横断砂州状になると河床は間もなく平衡に向う。下流端流出土砂量の粘土分を計量したのはRUN 3のみであったので、図-5には累積流出土砂量 ΣQ_B をプロットした。各RUNとも直線で近似できわん曲部形成初期段階の側岸浸食量はほぼ一定とみなすことができる。図-5の勾配から単位時間当たりの浸食量を求め、測定区間で最も一様に浸食したわん曲部頂点位置の水理量を代表させて、江頭ら¹⁾の理論式と比較したのが図-6である。ただし、 τ_{sc} として非粘着性材料に対する式を用い、 $\theta_1=35^\circ$ 、 $\theta_2=90^\circ$ 、 $D=0.5\text{cm}$ 、 $\mu_s=0.754$ 、 $\tau_{*c}=0.035$ (岩垣公式、水温 14°C)とした。表-3の代表水理量でRUN 1の測定精度は2、3に比べて劣る。理論は横断形モデルを台形としているにもかかわらず、実験値との対応はよいといえる。

4. おわりに

本研究では、新しい実験を試み、直線流路から蛇行流路に至る変動初期過程における側岸浸食土砂の挙動について、一応の成果を得たと考える。引き続き、非粘着性材料を給砂した場合の実験を行う予定である。因に、本研究において側岸材料の粘土分12.5%についても実験を行ったが、3時間通水しても浸食はほとんど起こらず、RUN 3程度の含有率が実験遂行上最も適切であるように思われた。

最後に、実験と資料整理に熱心に協力された本学昭和60年度卒論生、岡部正一、藤沢正幸、三浦重幸、山崎秀人の4君に感謝の意を表す。

<参考文献>

- 1) 江頭進治・芦田和男・加本実：山地河道の侵食機構に関する研究，第27回水理講演会論文集，1983。
- 2) 池田駿介・中村広昭：河川の蛇行に関する実験，第21回水理講演会論文集，1977。
- 3) 土木学会水理委員会研究小委員会：洪水流の三次元流況と流路形態に関する研究，1982。
- 4) 福岡捷二・山坂昌成：直線流路における河岸水衝位置の予測，土木学会第39回年講II，1984。
- 5) Lewin, J.: Initiation of bed forms and meander in coarse-grained sediment, Geological Society of America Bulletin, Vol. 87, 1976。

表-3 測定代表水理量

RUN	t (min)	X (m)	B (cm)	A (cm ²)	h (cm)	q _{BS} (cm ² /s)	τ_{*c}
1	7	5.3	32.0	39.7	1.24	0.074	0.096
	21	5.9	37.2	41.2	1.11	0.064	0.086
	28	5.9	38.1	37.1	0.97	0.062	0.075
2	14	3.1	31.4	48.6	1.55	0.052	0.120
	31	3.2	34.4	51.2	1.49	0.047	0.115
	56	3.1	37.3	53.4	1.43	0.044	0.110
3	20	3.1	30.6	51.3	1.68	0.040	0.130
	45	3.1	34.3	53.6	1.56	0.036	0.120
	67	3.1	38.1	57.6	1.51	0.032	0.117

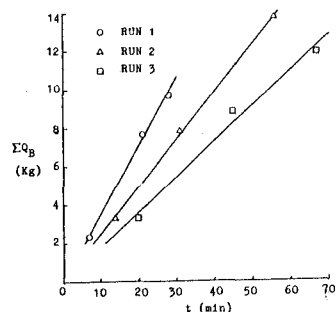


図-5 実測側岸浸食量

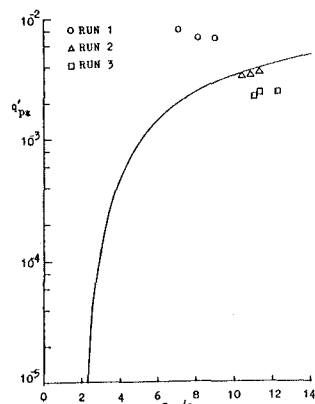


図-6 側岸浸食量の理論(江頭ら)