

北海道大学・工学部 学生員 渡辺 康玄
同 上 正 員 長谷川和義
同 上 正 員 山岡 勲

1. はじめに

沖積蛇行の最終発達段階にあたる迂曲流路の河床及び流れは、複雑な様相を呈しており、現在までにその性質に触れた報告は少ない。本研究は、自然河川の迂曲形状を参考に定めた実験流路を用いて、これらを明らかにしようとするものである。¹⁾²⁾

2. 実験装置と方法

流路は、式(1)で示される線形をもつ幅22cm,高20cm,長13.4mの矩形断面を有するアクリル製のものである。これに中央粒径0.76mm,均等係数1.27,比重2.546の珪砂を敷きつめ、移動床とした。表-1に示す水理量を用いて通水し、平衡状態と認められた時点で河床を形状読取装置で測定した。また、石コウで河床を固め、水面形及び流速をそれぞれ形状読取装置、プロベラ式流速計で測定した。なおRunME-5, 6は砂州の発生する条件、ME-7は非砂州の条件で実験された。

表-1

RUN No.		ME-5	ME-6	ME-7
流路蛇行長	L (cm)	432	432	432
水路幅	B (cm)	22.0	22.0	22.0
流量	Q (cm ³ /s)	866.47	940.90	2267.17
勾配	1/L	1/120	1/90	1/310
平均水深	H ₀ (cm)	1.38	1.44	3.48
平均流速	U ₀ (cm/s)	28.54	29.70	29.88
フルード数	Fr	0.776	0.791	0.512
無次元渦流度	τ _*	0.098	0.153	0.096
摩擦係数	f ₀	0.028	0.040	0.025
川幅水深比	B/H ₀	15.94	15.28	6.32
無次元波数	2π H ₀ /L	0.020	0.021	0.051
E = 2H ₀ /B		0.125	0.131	0.316

$$\frac{1}{r} = -\frac{d\theta}{ds} = \frac{1}{46.90(\text{cm})} \cos \frac{2\pi}{432(\text{cm})} \tilde{s} - \frac{1}{114.59(\text{cm})} \sin \frac{6\pi}{432(\text{cm})} \tilde{s} \quad (1)$$

$$\tan \psi = N_{ij} \frac{\partial \tilde{\eta}}{\partial \tilde{s}} \quad (2) \quad \tau \frac{\partial \tilde{\eta}}{\partial \tilde{s}} = N_{ij} \frac{\partial \tilde{\eta}}{\partial \tilde{s}} \quad (3) \quad \tilde{\eta} = \frac{N_{ij}}{T_e} \frac{\partial \tilde{\eta}}{\partial \tilde{s}} \quad (4)$$

$$\eta = \sum_{i=0, j=0}^{\infty} \alpha_{ij} \sin \left(\frac{i\pi \tilde{s}}{2} + \frac{\pi}{2} \delta_{ie} \right) \cos j\omega (s - \sigma_{ij} - c_{ij} t) \quad (5)$$

$$\tan \psi = -\sum_{i=0, j=0}^{\infty} \left[\frac{N_{ij}}{R_j} \cos \left(\frac{i\pi \tilde{s}}{2} - \frac{\pi}{2} \delta_{ie} \right) \cos j\omega (s - \sigma_{ij} - c_{ij} t) \right] \quad (6)$$

3. 実験結果

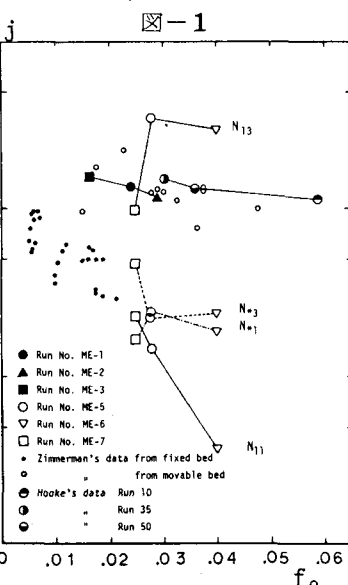
(3-1) 河床形態：各実験の平衡底面形

状を図-2(a)~4(a)のコンター図に示す。 $\left[\frac{\partial \eta}{\partial t} - \eta \frac{\partial \psi}{\partial s} \right] \frac{\partial \eta}{\partial s} = \frac{\partial^2 \eta}{\partial s^2} - \eta \frac{\partial^2 \psi}{\partial s^2} + (1-\gamma) \phi \left[\frac{\partial}{\partial s} \eta \frac{\partial \psi}{\partial s} + \epsilon \nu \frac{\partial \eta}{\partial s} + T_e \frac{\partial \eta}{\partial s} \right] \quad (7)$

ME-5,6は両者とも、最深部が凹岸曲頂の上流側に発生し、その対岸側に固定砂州が形成されている。最深部 $\tilde{r}$ ：流路の曲率 $\tilde{s}$ ：流路中心線に沿って流下方向を正とした距離軸 $\tilde{r}$ ：水深 $\tilde{\eta}$ ：河床の平均河床面までの変位 $\tilde{\eta}$ ：流路の横断方向軸を挟む深掘れ部の底面縦断勾配が、ME-5は上流側が急 N_{ij} , N_{ij} ：平面形状及び底面形状が二次流に及ぼす効果を示す係数で下流側が緩やかになっており、ME-6ではその逆となっている。また、迂曲流路の性質を規定する曲頂下流の砂州の接続形態は、ME-5,6についてそれぞれ「B型」,「C型」になっているものと判断された。一方、ME-7では、ME-5,6に見られる固定砂州状の高まりが曲頂下流の凸岸側に見られるが、凹岸側の深掘れがかなり広い範囲に形成されており、その最深部が曲頂よりやや下流に N_{ij}

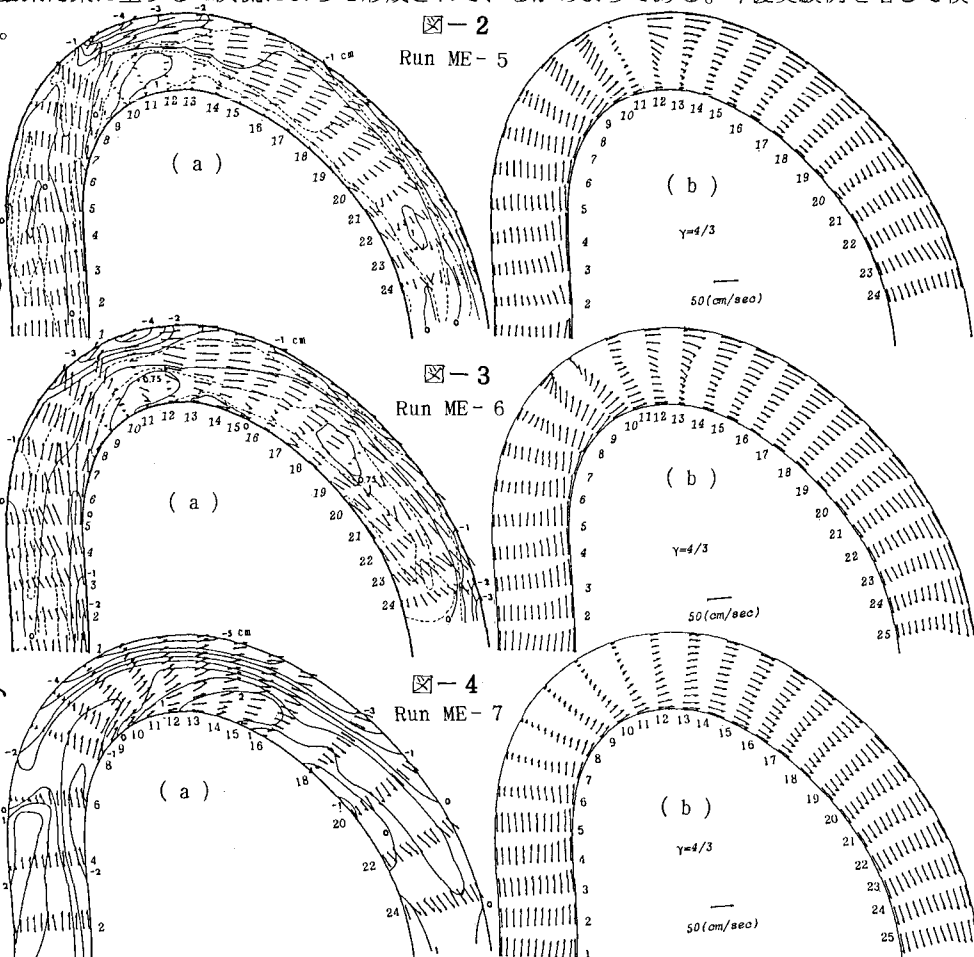
現われている。曲頂下流の凸岸側にも洗掘が生じていることが注目される。これらの形状を昨年と同様の手法³⁾で二重フーリエ級数展開すると、横断方向の基本周期を流路幅の2倍にとり、縦断方向のそれを一蛇行長とした場合、ME-7の卓越する波数は、第一位が(1,3)、続いて(1,1)であった。興味深いことに、これらの縦断方向の波数は平面形状のそれに対応している。一方ME-5,6については、流路の変曲点を挟んで半蛇行長をとり出しこれを基本周期にとると、蛇曲実験³⁾と類似の結果となった。流路の曲頂を挟んで半蛇行長をとり出し解析すると砂州前縁が凸岸に向く「B型」の接続形態(ME-5)と、逆の「C型」(ME-6)との違いが現われた。すなわち、それぞれ(1,2), (1,0)の波が最大振幅を有する結果となった。

(3-2) 底面形状に及ぼす二次流：平衡状態の二次流がもたらす底面流線の傾き $\tan \psi$ は、流路平面形状と式(2)のような関係にある。平衡状態では、これが斜面の重力と釣り合い式(3)が成立するので、式(4)となる。しかしこれは、流下方向の流速変化がない場合に成り立つ関



係式で、迂曲流路上の流れはこれを満足していない。そこで底面形状及び $\tan\psi$ を、それぞれ式(5)、(6)で表わし、これらを式(7)で示される流砂連続式に代入することにより中の N_{ij} 、 M_{ij} を求める。ただし、 u, v に対しては、著者ら⁴⁾が提案してきた二次元浅水流に基づく線形近似解を用いる。図-1は、式(4)及び式(6)による N_{ij} 、 M_{ij} の f_0 に対する変化を見たもので、Zimmerman, Hookeの実験及び著者らの蛇曲実験ME-1, 2, 3の結果も合わせて記入している。今回の実験で得られた N_{11} がZimmermanの固定床実験の結果と、また N_{13} が移動床実験の結果とそれぞれ同じグループにまとまっている。理由は不明であるが、(1,1)の河床波は、フラットな河床に生ずる二次流の作用を受けて生じ、(1,3)の河床波は、蛇曲流路の(1,1)の波と同様、移動床河床に生ずる二次流によって形成されているかのようである。今後実験例を増して検討を深めたい。

(3-3) 迂曲流路における流れ：測定した流速を水深方向に平均化したものを、図-2(a)~4(a)のベクトル図で示す。ME-6は彎曲流入部で凹岸側に向かう蛇行性を示し、水衝部がME-5より上流に現われている。ME-7では流れがほぼ流路に平行し、水衝部が下流に位置している。水衝の程度も弱い。ME-5は強い二次流が発生しており、彎曲部



で激しい洗掘が生じている。その洗掘砂によって下流の外岸性砂州が成長し、「B型」接続が形成されているようである。ここでは、流速分布の最大点が凹岸から凸岸側へ遷移している。ME-6は、二次流が弱く外岸性砂州が小規模なものにとどめられており、その下流の内岸性砂州の影響が強まって、「C型」接続が現われているようである。ここでは曲りと砂州の流れに対する作用は、同調的なものとなり、流れは凹岸側に偏る傾向を示している。二次元浅水流に基づく線形近似解⁴⁾の結果は図-2(b)~4(b)のようになる。ME-5, 6は、ほぼその大雑把な性質が表現されている。しかし深掘部における流速分布形が逆転しており、彎曲部下流の流れの分岐などまでは表現し得ていない。ME-7では、彎曲部下流で流速分布が一部逆転を起こしているものの、その程度は小さく、ほぼ実測値の特性が表現されている。

謝辞：本研究は、昭和57・58年度文部省科研費(一般(B)5746018 代表 山岡 勲)の助成を受けてなされたものである。記して謝意にかえる次第である。

- 参考文献：1) 山岡・長谷川・渡辺・岡：迂曲流路内における交互砂州の形状特性，道支部論文集39号Ⅱ-25, 1983
2) 長谷川・山岡・渡辺・笹島：迂曲流路内の砂州上における実験と理論，同上Ⅱ-26, 1983
3) 長谷川・山岡・田中：流路蛇行の影響を受けた河床波の形状特性，道支部論文集38号Ⅱ-20, 1982
4) 長谷川和義：直線および蛇行流路内の発達した砂州上の流れ，第36回年講概要集Ⅱ-262, 1981