

II-117 蛇行流路内の砂州に関する研究

埼玉大学大学院 学生員 酒寄 建之
 埼玉大学工学部 正 員 山坂 昌成
 埼玉大学工学部 正 員 池田 駿介
 東海ウベハウス 新谷 太志
 防衛施設庁 福島 邦彦

1. 序 蛇行水路における河床形状を支配する要因には、2つの性質のものがある。それらは流路の平面曲がりに起因する洗掘と、ある条件のもとでは直線水路内でも発生する交互砂州である。ここで注目する点は、砂州は直線水路においては移動性を有しているが、蛇行水路においては砂州が存在しても、河床形状の変化の停止が確認されることである。そこで、本研究では直線及び蛇行水路において交互砂州発生・非発生条件でそれぞれ通水し、河床変動を測定し、Fourier 解析を行うことにより各変動成分の発達過程と平衡に至る過程を明らかにする。そして、それぞれの解析結果を比較することにより、蛇行水路の河床形状における砂州の性質を明らかにする。

2. 実験概要 直線・蛇行の水路を用いて、交互砂州の発生条件を満たす同一の水理条件で実験を行う。蛇行水路の蛇行長に直線水路で形成された砂州長を与えることで、両実験の異なる点は水路平面形状のみとし、河床形状を比較することで交互砂州と湾曲に基づく洗掘の影響を検討する。更に、蛇行水路を用いた砂州の発生しない条件の実験を行い、上述の実験と比較検討する。

使用する水路は直線・蛇行のいずれにおいても、勾配が変動可能である循環式水路であり、幅30cmの矩形断面を有している。水路の諸寸法は、直線水路が長さ 800cmである。蛇行水路は、中心形状に sine generated curve を持つ流路が4波長連しており、蛇行角 $\varphi = 20^\circ$ 、蛇行波長 $\lambda = 232.8\text{cm}$ （蛇行長 $L=240\text{cm}$ ）、水路中心軸の代表曲率半径 $R_0=109.4\text{cm}$ である（図-1）。使用した砂は、中央粒径 $d_{50}=0.093\text{cm}$ のほぼ均一の砂である。

直線水路実験 予備実験を行い、典型的な砂州・非砂州の条件を決定した。直線水路においては、砂州の発達が比較的速く、発達過程を追うことは困難であったため砂州の形成条件と平衡河床形状のみの測定を行った。測定は水路全般にわたって25～30断面、横断方向に0.5～2.0cm間隔で行った。

蛇行水路実験 直線水路実験によって得られた、砂州・非砂州の条件について実験を行う。

・蛇行砂州実験、平衡河床形状に到達するまでの河床変動を観察する。河床変動の速さを考慮して、通水開始後 $t = 5, 10, 15, 25, 40, 60$ （分）の時刻で河床形状の測定を行う。測定は一波長に対して、位相 15° 間隔、横断方向に0.5～3cm間隔で行った。

・蛇行非砂州実験 測定時間 $t = 15, 30, 60, 105, 165, 255$ （分）として、砂州条件と同様の測定を行った。

3. 実験結果 1) 直線砂州実験 通水開始後30分でほぼ平衡河床形状に達した。実験値を池田（駿）¹⁾による実験式と比較すると本実験結果は波高及び波長に関して、妥当な値を得ている。2) 蛇行砂州実験 砂州は通水後数分で不明瞭な前縁が発生・移動したが、30分後には安定・停止した。洗掘は通水後15分、位相差 90° 付近で卓越し、その後の変化はなかった（図-2）。3) 蛇行非砂州実験 洗掘は通水後60分、位相差 105° で最大となった。しかし、その後、埋め戻しが生じ、255分後には洗掘深が最大洗掘深の50%迄埋め戻された。その後も洗掘・埋め戻しは繰り返され、平衡河床形状は得られなかった。

4. Fourier 解析結果及び考察 平均河床面からの変位に対して次式を用いた Fourier解析²⁾を試みる。

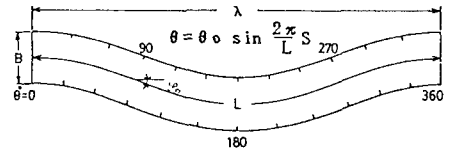


図-1. 蛇行流路平面形状

表-1 実験条件

	直線砂州	蛇行砂州	蛇行非砂州
水面勾配 I	1/106	1/99	1/220
平均水深 $H_0(\text{cm})$	1.40	1.51	2.15
流量 $Q(\text{l/s})$	1.48	1.49	2.15
砂州長 L (cm)	247	240	240

$$\tilde{\eta} = \sum_{i=0,2,\dots} \sum_{j=1,2,\dots} [\tilde{a}_{ij} \cos \frac{2\pi i}{2B} \tilde{n} \cos \frac{2\pi j}{L} \tilde{n} + \tilde{b}_{ij} \cos \frac{2\pi i}{2B} \tilde{n} \sin \frac{2\pi j}{L} \tilde{s}] \tilde{s} \\ + \sum_{i=1,3,\dots} \sum_{j=1,2,\dots} [\tilde{c}_{ij} \sin \frac{2\pi i}{2B} \tilde{n} \cos \frac{2\pi j}{L} \tilde{s} + \tilde{d}_{ij} \sin \frac{2\pi i}{2B} \tilde{n} \sin \frac{2\pi j}{L} \tilde{s}] \tilde{s}$$

ここに、 $\tilde{\eta}$:平均河床面からの河床の変位、 $\tilde{L}$:砂州或いは蛇行流路の1周期の長さ、 $\tilde{B}$:流路幅、 $\tilde{a}_{ij}, \tilde{b}_{ij}, \tilde{c}_{ij}, \tilde{d}_{ij}$:河床形状のそれぞれの成分振幅、 $\tilde{s}$:流路中心線に沿って流下方向に取った距離軸、 $\tilde{n}$:流路中央から左岸側に取られた $\tilde{s}$ 軸に直交する横断座標、 $i, j, \tilde{n}, \tilde{s}$ 軸方向の波数。尚、 $\tilde{s}$ 軸方向の原点は $\theta = 0^\circ$ とする。

波数 i, j については、それぞれの最大値を6,5とする。これにより得られた係数を偶、奇に分けて合成し、平均水深で無次元化すると

$$\alpha_{ij} = \begin{cases} \sqrt{\tilde{a}_{ij}^2 + \tilde{b}_{ij}^2} / \tilde{H}_0 & (i=0,2,4,6 \ j=1,2,3,4,5) \\ \sqrt{\tilde{c}_{ij}^2 + \tilde{d}_{ij}^2} / \tilde{H}_0 & (i=1,3,5 \ j=1,2,3,4,5) \end{cases}$$

$$\alpha_{i0} = \begin{cases} |\tilde{a}_{i0}| / \tilde{H}_0 & (i=0,2,4,6) \\ |\tilde{c}_{i0}| / \tilde{H}_0 & (i=1,3,5) \end{cases}$$

となる。 α_{ij} は、それぞれのモードの河床形状の振幅を意味する。上式により得られる形状と実測形状の対応の一例を示す(図-3)。上記の項数で充分再現できると言える。 α の主要成分は、直線・蛇行水路において、 $\alpha_{11}, \alpha_{20}, \alpha_{31}$ となる。特に、 α_{11} は他に比べ大きな値を取り、この位相が河床最深点の位相とかなり一致することから、河床形状をかなり支配している(図-4)。又、蛇行水路に限っては、 α_{22} の振幅成分が α_{20}, α_{31} 程度のオーダーで発生する。

変動モード(2,0),(2,2)の振幅、周期に対して、流れの非線形解析により得られる流速の非線形成分 v_{23} を比較することにより、これらの成分には流速の非線形性が影響していると考えられる。

蛇行非砂州実験においては、 α_{11} の位相が顕著に移動していることがわかる(図-2)。又、 α_{11} の振幅の時間変化に周期性の存在が推測される(図-4)ことより、蛇行非砂州実験における洗掘、埋め戻しの現象は、蛇行流路での固定した交互洗掘河床形状の上に移動性の砂州が存在していたと考えられる。

5. 結論 1. 蛇行水路における初期条件としての平坦河床は、蛇行平面形状に起因して形成される局所洗掘の存在する河床形状を基準とすると、大きな擾乱が生じている条件となる。従って初期河床を平坦河床形状とした蛇行水路実験では、移動性砂州については線形安定論のみからその発生を論じることではできず、これが、直線流路で非砂州条件(初期平坦)であっても、蛇行流路で移動性砂州が形成された原因と考えられる。これは砂州非発生条件(初期平坦)の直線流路において、初期に大きな擾乱を与えた状態に対応すると考えられる。このような状態において、砂州が消滅せずにある平衡状態に至るかどうか、今後検討して行く予定である。2. Fourier 解析の結果、直線流路に比べ蛇行流路では、 α_{22} の波の振幅の発達が大いことが明らかになった。3. α_{11} の波は洗掘の大部分を支配し、その位相は最大洗掘が生じる位相とほぼ一致する。

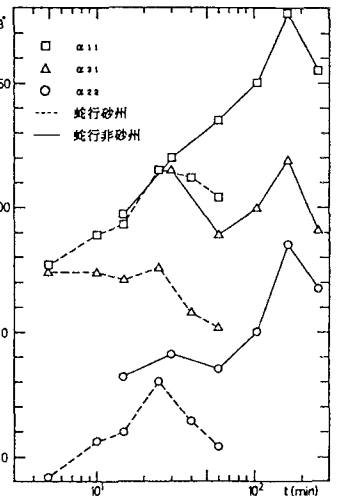


図-2. 主要成分の位相変化

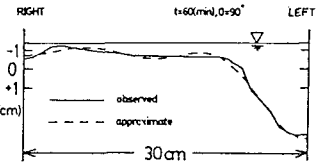


図-3. 河床形状
(近似値及び測定値)

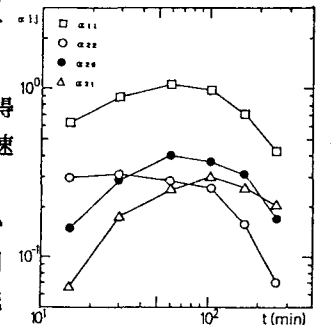


図-4. 主要振幅成分の変化
(蛇行非砂州)