

北海道大学工学部	学生員	中村健作
北海道大学	正員	長谷川和義
北海道開発局	正員	渡邊 康玄
北海道開発局	正員	鳥谷部寿人

1. はじめに

蛇行流路において交互砂州と流路の湾曲効果が一致したときに、外岸部が大きく洗掘されることがある。この状態を共振という。本論文は、平成4年10月より北海道開発局開発土木研究所で行われた移動床蛇行水路実験のデータをもとに共振状態を含む河床形状の特性を主に波数解析の立場から検討した。

2. 実験の概要

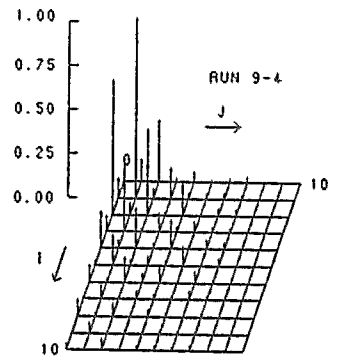
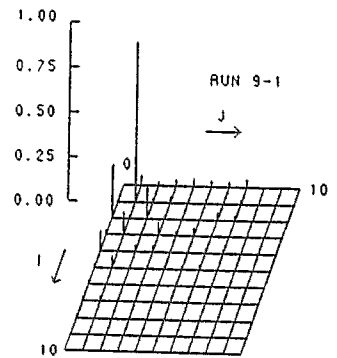
本実験に用いられた5種類の流路形状のうち、RUN1-\*は直線水路、RUN3-\*, RUN5-\*, RUN7-\*, RUN9-\*, RUN11-\*は蛇行水路であり、RUN3-\*からRUN11-\*に変化するにしたがって波長が短くなっている。さらに、各々のRUNにおいてRUN\*-1, RUN\*-2, RUN\*-3, RUN\*-4の4種類の水理条件で実験を行った。RUN\*-1からRUN\*-4に変化するにしたがって流量を落として砂州の発生する条件で実験を行っている。

3. 二重三角多項式を用いた河床形状の波数解析

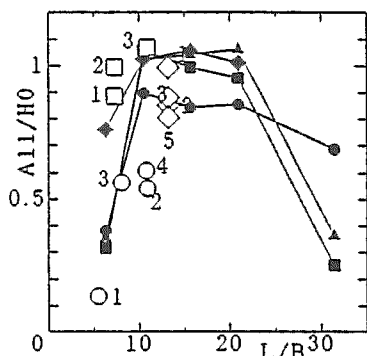
流路中心線に沿って下流向きにS軸を、これに直交してn軸をとり、平均河床面からの底面変位をη（浸食を正）とする。ηを二重三角多項式にて表すと、

$$\eta = \sum \sum A_{ij} \sin\left(\frac{2\pi i}{2B} s - \frac{\pi}{2} \delta_{i,0}\right) \cos\left\{\frac{2\pi j}{L}(s - \sigma_{ij})\right\} \quad (1)$$

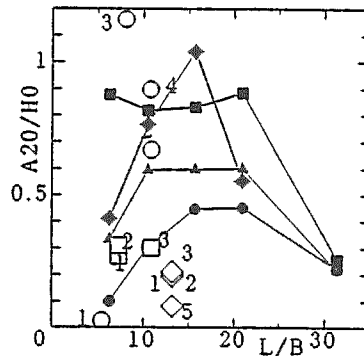
となる。ただし、 $\eta = \eta / h_0$ 、 $h_0$  = 平均水深、 $B$  = 流路幅、 $L$  = 流路蛇行長、または平均交互砂州長の2倍、 $A$  = 平均水深にて無次元化した成分波の振幅、 $\sigma$  = 位相距離、 $i, j$  = それぞれ、流路幅の2倍、および蛇行長を基本波長とするときの波数、 $\delta_{i,0} = (1 + (-1)^i) / 2$ である。全部のRUNにおいて(1)式による展開を行い、 $(i, j)$ に対する振幅分布を計算した。例としてRUN9-1とRUN9-4の振幅分布図を右図に載せる。この図を見ると砂州の発生条件にあるRUN9-4の方が様々な波数の成分が含まれている。すべてのRUNにおいても同様な結果が得られた。



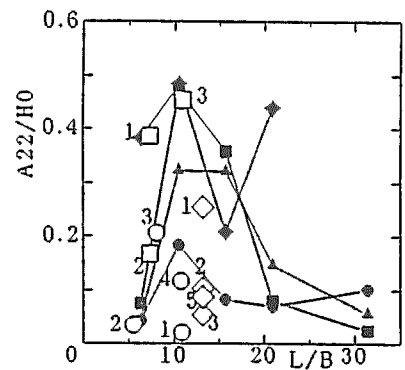
4. 主要波振幅の特徴



図A-11



図A-20



図A-22

3. の解析結果は交互砂州形状や蛇行流路の底面形状が、 $(i, j)$ につき $(1, 1), (2, 0), (3, 1), (2, 2)$ 等の主要波によって良く表現できることを示している。図A11, 図A22, 図A20, 図A31は横軸に(蛇行長L/流路幅B)を、縦軸に水深によって無次元化した主要波振幅成分 $A_{ij}/h_0$ をとり、実験結果を示したものである。これらの図より以下のことが分かる。 $(1, 1)$ の波は $L/B=7\sim 20$ の範囲で砂州、非砂州に関わらず

大きな値を示している。L/Bがこの範囲からはずれたり、直線水路の場合は低い値を示す。(2,2)の波は蛇行水路でしかも砂州条件の時に大きな値を示す。(2,0),(3,1)の波は、直線水路では砂州区分パラメータ $B/H \cdot I^{0.2}$ の増加と共に急激に大きくなるが、蛇行水路の場合は $B/H \cdot I^{0.2}$ が大きくなっても値は大きくならない。

### 5. 共振条件の検討

Parker(3)らは、2次元蛇行移動床の線形化方程式が空間的振動方程式となることを示し、同次方程式部分が砂州発生に対応し、蛇行湾曲が強制項に相当するものと考えて、結果的に次の共振条件を導いている。ただし、簡略化表現に従っている。

$$\frac{Lr}{B} = \frac{2\pi H_0}{C_{r0} B} \sqrt{2 \left( \frac{3}{1 - \tau_c^* / \tau_{c0}^*} - 3 \right)}$$

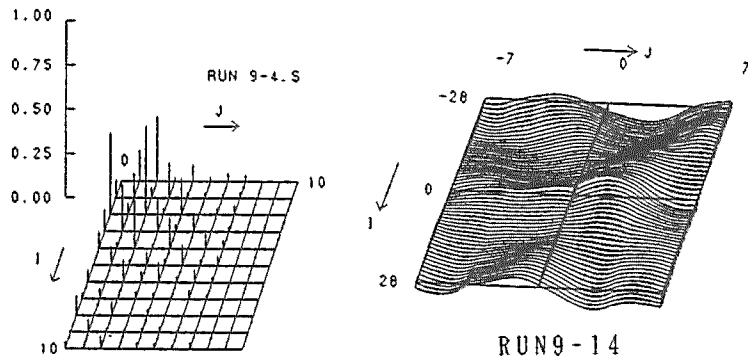
ただし、 $C_{r0} = \frac{g H_0 I}{u_*^2}$  ,  $\tau_{c0}^* = \frac{H_0 I}{s d}$  ,  $u_*^2 = 55.0 d$  ,  $\tau_c^* =$

$\frac{u_*^2}{s g d}$  であり、Lr=共振波長、d=流径、 $H_0$ =平均水深、B=流路幅、

S=砂の水中比重、を表す。図-1は横軸に(流路の波長L/Parkerの理論式による共振波長Lr)、縦軸にA11をとったものである。同図でみる限り、式(2)のパラメータに関して振幅の系統的な性質は見いだせない。簡略化表現を用いている事に問題があるとも考えられるが、線形理論の限界、砂州成長過程が考慮されていない事などに原因があるように思われる。

### 6. 湾曲効果の分離と湾曲による非線形効果の分離

RUN9-1は曲がりの影響だけを受けたデータである。RUN9-4は曲がりと砂州の両方の影響を受けたデータである。RUN9-4.SはRUN9-4からRUN9-1を引いたデータである。つまり、RUN9-4.Sは曲がりの影響を受けた砂州のデータであり、曲がりと砂州の非線形効果を含んだものである。今、RUN9-1とRUN9-4.Sのデータを流下方向にI、垂直方向にJずらして上下のデータの積の和をとったものがRUN9-14である。この図は明



らかに(2,2)の波の卓越が認められる。RUN9-1とRUN9-4.Sの両者とも(2,2)の波の振幅はあまり大きくない。しかし、この2つのデータの相関をとると改めて(2,2)の波が卓越するということは、(2,2)の波が砂州に対する湾曲の非線形干渉の結果を示すものと考えられる。

### 7. まとめ

本実験と解析により以下のような事が分かった。

- ①直線水路で砂州条件の時は(1,1),(2,0),(3,1)、蛇行水路で砂州条件の時は(1,1),(2,2)、蛇行水路で非砂州条件の時は(1,1)の波がそれぞれ卓越する。
- ②Parker等の共振波長に近い蛇行長をもつ実験の結果は必ずしも系統的な性質を示さず、蛇行長/幅比および砂州の形成領域区分パラメータに関してまとまりがみられる。

### 参考文献

- (1)中村、長谷川、清水、渡邊、鳥谷部：土木学会北海道支部論文報告集、第49号、1993
- (2)鳥谷部、渡邊、清水、中村、長谷川：土木学会北海道支部論文報告集、第49号、1993
- (3)Parker, M. and Johansson: Observation on several recent theories of resonance and overdeeping in meandering channels. AGU WATER RESOURCES MONOGRAPH 12, River Meandering, 1989