

直線水路における周期境界条件が交互砂州形状に与える影響

Effect of cyclic bound in straight channel to the form of sandbars

北海道大学工学部	学生員	○中西哲 (Satoru Nakanishi)
北海道大学大学院	学生員	松山洋平 (Youhei Matsuyama)
北海道大学大学院	フェロー	黒木幹男 (Mikio Kuroki)
北海道大学大学院	フェロー	板倉忠興 (Tadaaki Itakura)

1. はじめに

河川における砂州の形状及び、その挙動の予測をすることは、河川計画上大変重要である。古くから砂州に関する実験、数値計算、流れの可視化等を手段とした様々な研究が行われ、その結果、河川工学に多大な功績を上げてきた。しかし、実験、数値計算には限界がある。そのため、等流を仮定した短い水路に周期境界条件を与え、その形状が連続していくという仮定のもとに計算を行うのが一般的である。しかし、周期境界条件自体について言及した研究は少なく、周期境界条件を適用することが適当かどうか不明な点が多い。そこで本研究では、周期境界条件を与えた直線水路に発生する交互砂州の波長に注目検討することにより、その可否を問うことを目的とする。

2. 基礎方程式

本研究では清水ら¹⁾と同様に、二次元 Navier-Stokes の方程式と流れの連続式からなる二次元浅水流モデルを用いる。

Manning の粗度係数 n は河床が平坦であると仮定し式(1)であたえ、流下方向および横断方向の河床せん断力は、Manning 型の抵抗則を用いて計算する。

$$n = \frac{d^{1/6}}{6.9\sqrt{g}}$$

ただし、 g は重力加速度、 d は河床材料の平均粒径

流下方向、横断方向の流砂量は Meyer・Porter-Müller の式及び長谷川の式より求める。

差分法により離散化し、繰り返し計算により、流速、水位および河床変動量を求める。

3. 計算条件

数値計算において、水路に周期境界条件を与えると、その整数倍の水路長では砂州の形状、挙動は一致することが期待される。そこで、次のように水路長を変化させることにより、その河床変動特性を調べることにした。

交互砂州が形成される条件を前提とし、まず 5m の倍数の水路長について、続いて 5m から 2.5m 刻みの水路長についての計算をし、その結果から砂州の波長の変化が著しいと予測される水路長に対し 10cm 刻みの水路長を変え計算を行った。

その他の水理条件は全てのケースで同一とし、流量

$Q=0.0114\text{m}^3/\text{sec}$ 、水路幅 $B=0.9\text{m}$ 、河床勾配 $I=1/1000$ 、 $d=0.9\text{mm}$ 、河床材料の水中比重 $S=1.65$ とした。砂州の形状がほぼ安定したと思われる時間における砂州の波長及び移動速度を求めることとした。

4. 計算結果

以上の条件の下で計算を行った結果、水路長と砂州の挙動についていくつかの興味深い結果が得られたので、その結果を以下に示す。

図-1 は 5m の倍数の水路長における砂州前縁の走時曲線を示している。縦軸は時間、横軸は移動距離とし、図-2 は砂州の波長と水路長の関係を示し、縦軸は波長、横軸は水路長としている。

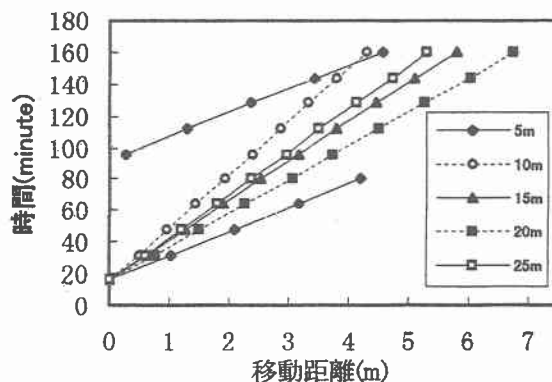


図-1 砂州前縁の走時曲線

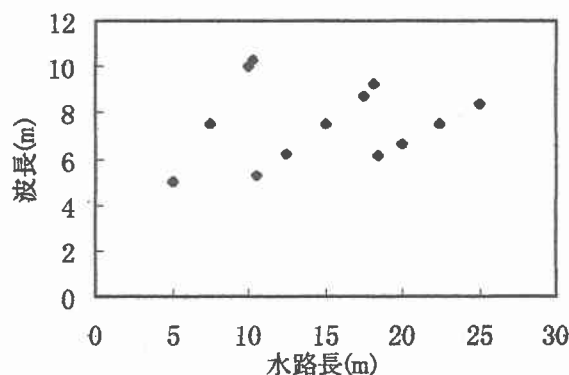


図-2 波長と水路長の関係

図-1、図-2 より、水路長以外の水理条件は一定ではあるが、波長、走時曲線共に必ずしも一致していないことが明らかに分かる。

図-1 上にプロットされた点はほぼ3本の直線上に分布し、同一直線上の点は砂州の個数が一致している。直線の傾きが小さくなるにつれ1波長、2波長、3波長と増加し、また、ある長さの水路を境に砂州の波長が変化することがわかる。

水路長の少しの変化により、波長が変化する場合があることが分かった。波長が変化する現象を調べるため、ここでは例として波長が1波長から2波長へと遷移する水路長、具体的に10.3m、10.4m、10.5mの計算開始時間から4000分後の河床形状を比較し、それぞれのコンター図を図-3に示した。3つのケースを比較すると、水路長が10.3m、10.5mの両ケースでの砂州の波長はそれぞれ1波長、2波長と明確に現れているのに対し、水路長10.4mのケースにおける砂州の長さは一定ではなく、はっきりとした波長は分からない。そのため10.3m、10.5mの両ケースとは異なり、安定な状態には落ち着いていない。また、2波長から3波長へと変化する水路長18.2m、18.3m、18.4mケースにおいても同様の結果が得られた。

砂州の移動速度と水路長との関係を図-4に示す。砂州の波長が長くなると移動速度は遅くなることが分かる。また、波長が変化する水路長において、変化の

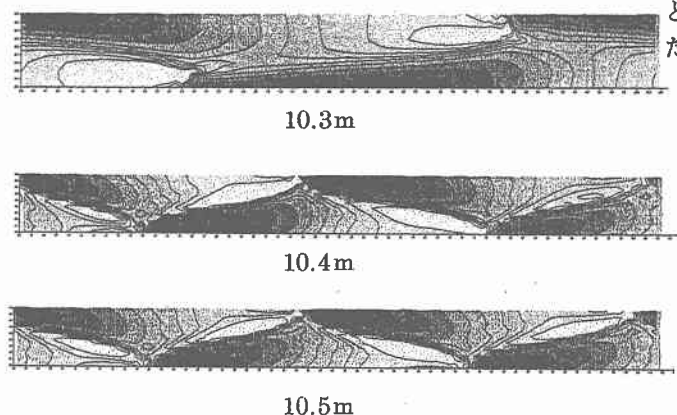


図-3 河床コンター図

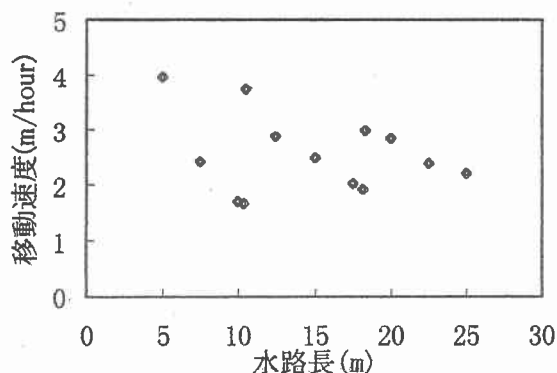


図-4 砂州の移動速度と水路長の関係

度合いが著しいことが確認できる。また水路長と今回求めた砂州の波長、移動速度との関係はある一定の規則に従っているかのように見えることも興味深い。

ここで水路長が7.5mの整数倍である水路に注目すると、今回得た砂州の波長及び移動速度双方においてほぼ同値をとっていることが分かる。

5. 考察

数値計算の結果、同一水理条件のもとに周期境界条件を与えた場合、水路長を変化させることにより様々な砂州の波長が現れることが確認できた。周期境界条件が与えられた水路とその倍数の水路における砂州の挙動が必ずしも一致しないことが明らかになった。交互砂州の波長は図-5に示す通り川幅に比例し、半波長・川幅比は川幅・水深比に依存することが知られている²⁾。しかしながら、周期境界条件下では、下流側の河床形態を上流側の境界条件としている。つまり本来川幅と水深により決定されるべき波長を人工的に与えていることに他ならず、そのため砂州の波長が強制的に川幅、水深に関係なく、水路長により決まるものと考えられる。

本研究においては前述したように、水路長が7.5mの倍数の場合、砂州の波長と移動速度共に一致した。水路長7.5mの川幅、波長の値は図-5からも説明できる。

以上より周期境界条件下でも適切な条件を与えることにより、安定した波長の砂州が現れることが分かった。

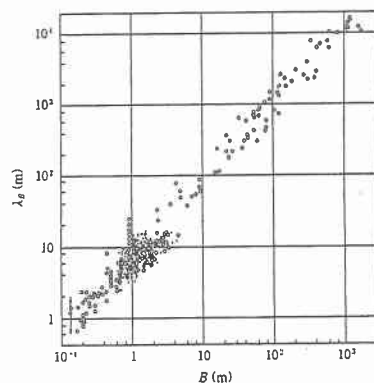


図-5 川幅と波長の関係
ただし λ_B は半波長

6. 結論

本研究により直線水路における周期境界条件が与える影響について知ることができた。が、各種水理条件を変化させた場合、違う結果が出るであろう。特に複列砂州についてなど今後の課題となるであろう。

参考文献

- 1) 清水康行, 板倉忠興: 河川における2次元流れと河床変動の計算, 北海道開発局土木試験所報告85号, 1986.
- 2) 土木学会水理委員会: 水理公式集平成11年度版河川編, p.185, 2000