

流路の平面形状が中規模河床波の形成過程に及ぼす影響

新潟大学大学院自然科学研究科 学生員○高橋 玄
新潟大学災害・復興科学研究所 正員 安田 浩保

1. はじめに

中規模河床波の挙動はこれまでに実験的研究と理論的研究を中心に解明が進められてきた。ただし、その多くは流路の平面形状は河床波の動態に従属的であるとの考え方から直線水路が用いられてきた。流量の非定常性をも踏まえるなら、最大流量時の水面幅は沖積扇状地のような場では半無限、あるいは谷底平地のような場では有限となり、それぞれで問題の本質が根本的に異なることになる。つまり、後者では、河床波の挙動とは独立に側方の拘束条件の考慮が必要となることが推測される。具体例として、洪水時の谷底平地においては水面幅が有限かつその平面形状は山裾を縦断的に連ねた形状を呈することがあげられる。このような場での中規模河床波の問題に対し、既往の直線水路のもとで得られた知見をそのまま適用することには疑義が残る。そこで、本研究では、砂州の生成や変形過程が流路の平面形状に対してどのような応答を示すかの把握を目的とした数値実験を以降に示す通り実施した。

2. 計算条件

(1) 流路の平面形状

中山間地域の典型的な地形である谷底平野の平面形状に注目すると、平野両岸の山裾の拘束により、**図-1**、**図-2**のような平野の平面形状が多く見られる。

本研究ではこれらの平面形状をそれぞれ蛇行型、瓢箪型と呼ぶこととした。以下に示す数値シミュレーションでは、蛇行型、瓢箪型に加え、直線を含む合計3パターンの平面形状のもとで砂州の形成過程の数値シミュレーションを行った。

(2) 水理条件¹⁾

以下の数値シミュレーションに用いた流路形状、および水理条件を**表-1**に示した。まず**表-1(a)**に示した流路形状は、流路幅、河床勾配、蛇行波長、最大蛇行角は中山間地域内に位置する北海道日高町の厚別川流域での実地形を参考に定めたものである。**表-1(b)**に示した水理条件のうち、表中の流量は厚別川流域で2003年に発生した洪水時のピーク流量である。なお、以上の条件より無次元掃流力 τ_* と河幅水深比 $Bi^{0.2}/h$ を求めると、複列砂州発生領域であることがわかる。計算には周期境界条件を用い、総計算時間は河床が平衡状態に達すると判断した400000secに設定した。

3. 数値実験 I

本研究ではまず、直線、蛇行型(15°)、瓢箪型(15°)の三者の平面形状の違いが形成される中規模河床波に対してどのような影響を及ぼすかを把握するための数値実験を実施し、以下の結果を得た。

(1) 直線流路における流れの変化

直線流路においては**図-3**のように砂州形成初期には典型的な網状流路が形成されたが、時間の経過に伴い流れが集中して1本の蛇行流路へと収束していったことが分かる。これは現在まで行われてきた、直線水路を用いた複列砂州卓越領域の水理条件下での砂州形成の室内実験と同じ結果である。以上の点から使用した解析モ

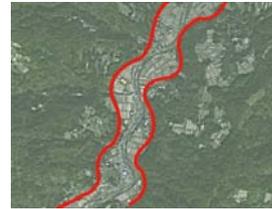


図-1 蛇行型



図-2 瓢箪型

表-1 数値シミュレーションに用いた計算条件

| 流路幅 | 河床勾配 | 蛇行波長 | 最大蛇行角 |
|------|-------|-------|-------|
| 500m | 1/300 | 1600m | 15° |

(a)

| 流量 | τ_* | $Bi^{0.2}/h$ |
|-------------------------|----------|--------------|
| 2200m ³ /sec | 0.2 | 130 |

(b)

デルは砂州の形成過程を十分に再現可能であると判断される。

(2) 蛇行型流路(15°)における流れの変化

蛇行型流路では**図-4**のように砂州形成初期においては1本の蛇行流路に収束するような形状であったが、その後は形成された蛇行流路が分離して、並行した2重流路が形成される。最終的には側壁で与えた蛇行波長と同程度の蛇行波長で1本の蛇行流路に収束していった。

(3) 瓢箪型流路(15°)における流れの変化

瓢箪型流路においては、**図-5**のように初期に幅広部分で形成された砂州が徐々に幅狭部分へ移動し、最終的に幅狭中央部で安定し、浮洲が形成された。流れはその浮洲を迂回して流れていることが確認され、蛇行波長については側壁で与えた蛇行波長と同程度の蛇行波長が得られた。

(4) 得られた結果の考察

砂州を定量的に評価する指標として砂州波高、砂州波長が挙げられる。直線、蛇行型、瓢箪型流路で形成された砂州の砂州波高、砂州波長、さらに最終的に得られる流れの形状を**表-2**に示した。得られた砂州波高、砂州波長、流れの形状を比較するとどれも異なる結果が得られたことが分かる。特に最終的に得られる流れの形状は、直線と蛇行型は1本の蛇行流路であったのに対し、瓢箪型では典型的な複列砂州上の流れに酷似した2重8の字流路となり、大きく異なった結果が得られた。

4. 数値実験 II

既往の砂州の研究では、複列砂州卓越領域の水理条件であっても最終的に複列砂州はモード減少し、交互砂州へ移行するとされてきた。しかし、瓢箪型流路では、前項に示した結果のとおり、多モードの状態を維持することが分かった。これはモード減少することなく安定した複列砂州が維持しているとも言えよう。

そこで、本章では、瓢箪型の最大蛇行角を10°、5°に変えて数値計算を行うことで、どの程度の側壁の曲率で形成される砂州に影響が及ぶのか調べた。これにより得られた河床形状、流れの変化の過程をそれぞれ**図-6**、**図-7**に示した。

Key Words: 交互砂州、複列砂州、数値計算

〒950-2181 新潟市西区五十嵐2の町 8050 TEL 025-262-7053

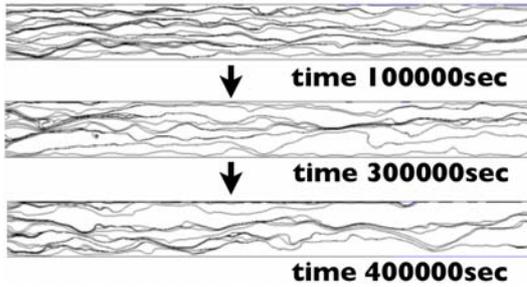


図-3 直線流路における流線の変化

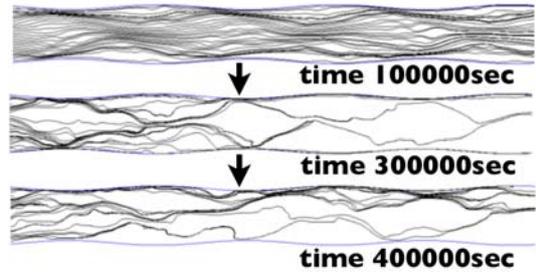


図-7 瓢箪型流路 (5°) における流線の変化

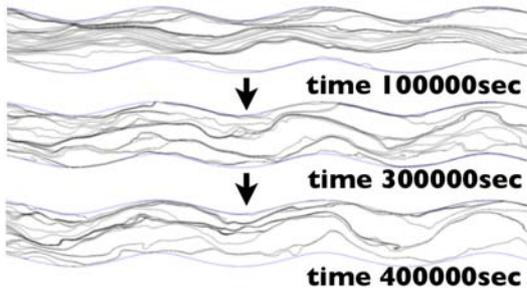


図-4 蛇行型流路 (15°) における流線の変化

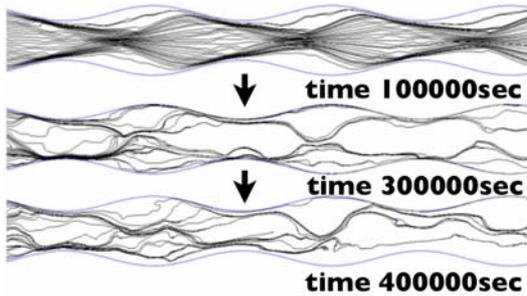


図-5 瓢箪型流路 (15°) における流線の変化

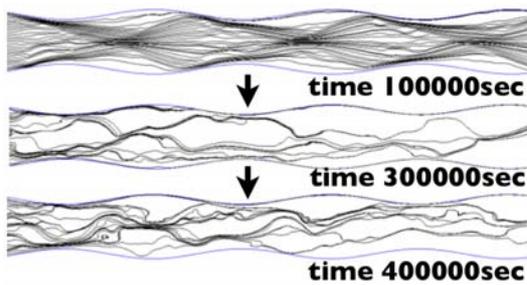


図-6 瓢箪型流路 (10°) における流線の変化

(1) 瓢箪型流路 (10°) における流れの変化

図-6にあるように最大蛇行角 10° の場合では、15° の場合と同じ結果が得られ、変化の時間についても概ね一致しているのが分かる。この点から、今回用いた水理条件下において最大蛇行角が 10° 以上の瓢箪型流路では、流路の幅狭部分に安定した複列砂州が維持可能であると考えられる。

(2) 瓢箪型流路 (5°) における流れの変化

最大蛇行角 5° では図-7にあるように、砂州形成初期においては最大蛇行角 15°、10° の場合とほぼ同じ結果が得られた。しかし、その後は複列砂州形状が崩れ、交

表-2 砂州波高、砂州波長、最終的に得られた流れの形状の比較

| | 直線 | 蛇行型 | 瓢箪型 |
|-------|-------|-------|---------|
| 砂州波高 | 3m | 3m | 4.5m |
| 砂州波長 | 1700m | 1000m | 1100m |
| 流れの形状 | 蛇行流路 | 蛇行流路 | 2重8の時流路 |

互砂州に近い形状に移行していった部分があった。流れの形状も 2重8の字流路が崩れ、1本の蛇行流路に収束し始めていくことが分かる。これより、最大蛇行角 5° においては、最終的に形成される砂州形状、流れの形状は直線流路の場合に近いと判断した。しかし、それに至る過程については直線流路の場合とは大きく異なり、他の瓢箪型流路での砂州形成の特徴と同じであった。移動床の水理の場合、土砂と水理条件が複雑に絡み合うために単純な言明は難しいものの、最大蛇行角 5° においても平面形状は形成される砂州に少なからずの影響を及ぼすことが示された。

5. 考察

以上の計算結果より同じ水理条件下でも平面形状の違いにより形成される砂州の砂州波高、砂州波長、流れの形状は大きく異なることが確かめられた。特に平面形状によって強制的に横断方向流速が生まれ出される瓢箪型流路の場合には全く異なった形状の砂州が形成されることが示された。このような平面形状を持つ流路では直線水路から得られた知見を適用することはできないと考えられる。またその場合には側壁の蛇行の曲率が小さい場合でも砂州の形成過程に少なからず影響を与えるとの結果が得られた。これにより、砂州の形成過程を理解するためには平面形状をも視野に入れる必要があると示された。

6. おわりに

本研究により同じ水理条件下であっても流路の平面形状によって砂州の形成過程が大きく異なることが確かめられた。また現状では複列砂州については依然として未解明な点が多いが、強制的に横断方向流速を生み出す瓢箪型流路では安定した複列砂州が維持されるとの新しい知見が示された。

現在、形成される砂州の定性的な性質は、無次元掃流力 τ_* と河幅水深比 $Bi^{0.2}/h$ の 2つの指標のみによって捉えられるとされている。しかし、本研究の結果、平面形状も指標として考慮の必要性が示唆された。つまり、側壁に拘束条件がある河川では広く用いられている砂州の卓越領域区分図の適用は慎重に行うべきであることを意味している。

参考文献

1) 野上毅, 渡邊康玄, 近藤祐介: 大流量時に形成された砂州上の低水時における流路形成過程, 河川技術論文集, Vol.13, pp.363-368, 2007.