

1 河川の複列砂礫堆の特徴

河川において複列砂礫堆が現われる条件は、一般に、河床勾配が大きい区間で、流路幅が流域面積のわりに大きく、河床材料が砂利と砂で比較的砂が多い場合であり、かつ流れが2次元流とみなせる範囲にあるときである。その複列砂礫堆は、通常の実験水路に現われる複列砂礫堆とは異なり、ているので、考察を行う必要がある。

まず、河川の条件が通常の実験条件と異なる主要項目は表-1のようである。これらの項目の効果の現われ方は一定しているわけではなく、非線形的である。しかも、河道は常に変化しており、河道延長のスケールが小さいほど非平衡性の効果が大きくなる。

その結果、複列砂礫堆は種々の形態をとる。大蛇行（堤防法線）を不変と考えると、表-2のような分類を考えるとができるであろう。この分類の要素は左右水路の規模・強度、波長、位相等であり、流量規模によりモードと強度が遷移・変化する多重構造、および小水路の場合の小規模河床波・相乗効果などである。ここで、蛇行強度とは流路幅・水深・流量容量・連続性等の相対評価の結果定められる指標で現段階では定性的なものである。蛇行強度が大きく波長が大きい場合で、かつ年平均最大流量と最大流量との比が小さいときには、複列砂礫堆の安定性が大きい。

表-1 河川の特徴が現れる主要項目

主 要 項 目	内 容
1. 流量	洪水波形が一定しない（時系列）
2. 流砂量と粒径	上流部では非平衡、流砂量が多い時一般に細粒粒径別流砂量、流砂型、小流量時の堆砂条件、土砂生産の現象が stochastic 的（土砂流出）
3. 河床材料	混合粒径、アーモリリング、それらの平面分布
4. 流路の平面形	湾曲部（露岩、保護工）、狭窄部（露岩）
5. 河床変動	横断形状、河床上昇過程、河床低下過程
6. 河道の縦断バランス	上・下流の影響、各種要素の伝播速度の相違、履歴
7. 河床波の多重構造	蛇行強度、流量と流砂量に応じて出現（強度）
8. 構造物	護岸、水門、堰、草・樹木、露岩
9. スケール	乱れの効果、砂れん（粗度係数の変化）、流砂形式
10. 人工要素	砂利採取、掘り残し部の影響

表-2 河川複列砂れ様の分類

1. 8の字蛇行	単列蛇行が背中合わせとなり、左右対称
2. "	左・右の水路の規模・強度の異なるもの
3. 位相がずれているもの	独立、半独立
4. 波長が異なるもの	左右水路の規模・強度、位相によりさらに細分
5. 多重構造	流量・流砂量により、遷移・変化
6. 小規模河床波と混在	小水路の場合に影響が大きくなる

表-3 中規模河床形態のパラメーター

手 法	項 目
次元解析	川幅・水深比 B/h 、無次元掃流力 τ_{*} 、粒子レイノルズ数 Re_d 、水深・粒径比 h/d 、比重比 ρ_s/ρ
河床安定理論 (shear flow model)	流砂の非平衡性と遷移現象、河床波によるエネルギー損失、斜面上の流砂現象、流砂型式の効果、3次元流効果

2 中規模河床形態の形成に係るパラメーター

従来の研究によると、表-3に示すような項目についての検討が行われ、それぞれの項目の効果があり、なかでは川幅水深比 B/h が支配的であるとみなされている。

河川の場合であ、ても、実験や理論の条件と類似条件の範囲内では、従来の研究の結果が適用可能である。これに該当する形態は表-2の1に示す左右対称の8の字蛇行またはそれに近い複列蛇行である。8の字蛇行は、表-1に示す河川の種々、項目の影響に対して不安定であり、日本の河川のような変化に富む河道では、あまり見かけない。そこで、河川の複列蛇行のパラメーターを知るためには、表-1の条件と表-2の各種蛇行の間の関係を調べ、表-3に示すパラメーターに追加すべき事項を探らなければならない。

3 実態調査により明らかな、た事項

鬼怒川の宇都宮地区における航空写真昭和22年～昭和57年、8回）および現地踏査の結果、ならびに安倍川等の他の多くの事例を参考とすると、一般に、河川の複列砂礫堆の運動の特性として次の事項をあげる事ができる。

a. 水衡部は20年程度の時間尺度でみた場合に安定している。その理由は、ほぼ安定平面形とみられる河道沿いに築堤し、水あたり部を保護してきた結果であり、縦断的なバランスが保たれているからである。このとき、河岸の軟岩や露岩、および狭窄部が蛇行変化の規制条件とな、ている。また、これらの諸条件が維持される理由は複列河道として2次元的な洪水流の小さい水深と流速に基づく過大とはならない侵食力によるものと考えられる。

6. 水衝部となる大きなわん曲部や狭窄部、あるいは深掘れの生じる岩岸部において収束した湊は、その下流において勢力の異なる流路に分かれる。それぞれの流路において小流量に対応した単列の交互砂州が形成されることがある。アーマースコートが発達すれば湊部の大きな河床低下は防がれる。大洪水時における細粒土砂の補給により、河道は全般的に平坦であり、基本的には河床上昇となるが、砂利の供給量は多くないので河床上昇速度は小さい。この間において、河床はある幅の中で変動している。このような鉛直変動は大洪水(土砂量の多い場合と少ない場合)と中小洪水の生起時系列条件による。中小洪水時において大蛇行の水衝部あるいは流れの収束部では、流量と流砂の配分が行われ、その下流部のそれぞれの湊の河床変動が生じ、その条件がフィードバックされる。これにより湊の平面変動があり、流れの収束条件の変動に伴い水衝部の変動もありうる。流れの3次元性が強くなれば、掃流力と流砂量の間の非平衡性の増大のため複列河道の安定性が減小する。したがって、大蛇行が存在する基本条件のもとでの複列河道の安定条件は、流れの2次元性と収束部における流量と流砂量の配分性にあると考えられる。これは、河川の複列砂礫堆の長さや液高が一定しない理由のひとつでもあろう。

7. 大蛇行の形成は流れの3次元性および流砂形式と関係が深い。流れの3次元性は、平面形状・護岸水深粗度等による。この条件は、段階的に流量規模に応じたパターンを形成し、かつ河床変動速度の相違に基づく履歴性が存在するため、中規模河床形態の多重構造が生じる。これにより、蛇行強度と流量に応じたパターンが現われる。

8. 流路の分岐は、水深が大きくて流れの3次元性が強く、掃流流量が支配的のところでは発生しにくい。護岸を設けることにより、護岸前面に局所洗掘が生じると、深掘部は護岸沿いの流下方向に延長し、横断方向の洗掘部幅が拡がり浅くなる、たところで分岐する。この意味でも水利の効果は評価しうる。

9. 高水敷を造成して複断面とし、流路幅を縮小すると、水深増大に伴う流れの3次元効果の増大、局所的な流速の増大、砂州規模の縮小による安定性の減小等により、単列河道化へのモード変化が生じ易い。

10. 砂州部をカットすると、流量の収束条件の変化、アーマースコートの変化、流砂量の非平衡性の増大、多重構造の変化等が生じ砂州の継続バランスが崩れ、伝播速度の変化、分裂重合、発生消滅の結果、一般には砂州規模の減小となり、安定性が減小する。これにより、単列モードが成長することがある。

11. 上流からの供給砂量の減少は、流砂の非平衡性を増大し、局所的な蛇行強度の増大の結果、蛇行の安定性が減小し、多くの場合砂州規模の縮小と単列モードの成長をもたらす。単列蛇行強度が急激に増大する。

12. 複列河道から単列河道への変化の原因は、単独原因のことは少なく、多くは複数の原因に基づくものであり、河床低下の現象が共通して介在しているといえる。このようにして単列蛇行強度が増大すると、昔から存在する大蛇行特性と調和しなくなることがある。

4 まとめと今後の課題

実験結果数値計算結果論解析結果はそれぞれに正しい。河川においても類似現象は生じている。しかし、河川では一様河床勾配で河床材料が不変な区間においても、複列砂礫堆に縦断変化がみられるのが普通である。平衡状態を仮定し、変動幅を無視する尺度でみた場合にも、流れの2次元性と流路の直線性のほか、わん曲狭窄部人工要素などの効果が大きく、その程度に応じて砂州砂礫堆に反映される。また、全般的な流れの2次元性が確保されている場合でも、例えば護岸前面の溝状の深掘部の3次元流が、複列砂礫堆に影響を与えることもある。ここで論じた考え方は河川複列砂礫堆の運動の科学的な考察に資し、高水敷造成砂利採取橋脚保護取水施設等の河川の実際の問題に関して重要な判断の基礎として役立つものと考えらる。

しかしながら、ここで取りあげたような総合的な考え方を実証することは難しい。今後、原因の細部の現象の解明と各現象の非線型効果を考慮した定量評価が必要である。その中で特に重要な現象は、流れの収束部における流量と流砂量の配分則、浮游流砂分布の基底濃度掃流流量との直接の関係は不明、流砂の非平衡性などであろう。また、流れの2次元性、平均水深、支配流量、蛇行強度、多重性などの明確な定義が必要である。