

論文の内容の要旨

論文題目 河床形態の遷移過程に関する実験と実河川におけるその実態
(Laboratory and field studies on the transition process of riverbed configurations)

氏名 原田 大輔

近年、日本各地の礫床河川で、元々網状流路だった河川が交互砂州へと変化してきており、その交互砂州が移動しないために治水面では河床低下等、環境面では樹林化等が生じており、河川管理上の大きな問題となっている。しかしその根本的な原因は、河床形態がなぜ変化したかという観点からは未だ明確になっていない。これらの河床形態が変化した原因を明らかにするには、従来の研究のように交互砂州と網状流路とを別々に扱うのではなく、交互砂州から網状流路へ、或いは逆へという河床形態の遷移過程を把握し、二つの河床形態を一体的に理解する必要があると考える。

本研究ではまず、現地観測で得たデータを基に、現状の河床形態について、さらに過去から現在にかけてのその変化の実態について把握する。次に実験により、交互砂州と網状流路の構造やその違い、形成過程とその遷移過程について明らかにする。その上で、実験結果と実河川の状況とを比較し、その実態を明らかにすると共に河床形態の変化の原因について考察した。(第1章)

まず、関東地方を中心とした8つの礫床河川の48サイトで現地観測を行い、流量(平均年最大及び既往最大流量)、勾配、川幅(低水路幅)、礫径(線格子法による表層材料調査)について調査した。また、1947年以降の航空写真の解析から各サイトの河床形態を調査し、交互砂州の移動性も調査した。その結果、河床形態とその移動性という観点から、調査対象地の河床形態は「移動している交互砂州」、「移動していない交互砂州」、「移動していないが滲筋に小規模な交互砂州がある」、「網状流路」という4種類に分類された。調査した水理量及び河床形態を各地点で算出した無次元掃流力 τ^* と川幅水深比に勾配の0.2乗を乗じた $(B/H)I^{0.2}$ の図上にプロットした結果、網状流路と交互砂州との形成限界は図上においてある線を境に良好に区分された。

また、上記のうち「移動していない交互砂州」では河床低下や樹林化の問題が顕在化しているが、この状況は礫径が5cm以上の地点で多く見られた。さらに1947年の航空写真の調査から、これらの地点の大半は1947年の時点では網状流路であったものが、何らかの原因で交互砂州へと遷移していた。一方で礫径が5cm以下の地点では τ^* が比較的大きく、「移動している交互砂州」が形成されている傾向があった。また、網状流路は礫径を問わず様々な場所で見られたが、 $(B/H)I^{0.2}$ が大きい領域で多く見られる。(第2章)

次に、現地河川で見られた水理量を τ^* と $(B/H)I^{0.2}$ の観点で網羅するように、15通りのそ

それぞれ異なる水理量を選定し、水理実験を行った。まず一定流量を通水した結果、通水開始の初期（通水開始後 15 分以内）に交互砂州が形成されるケースと複列・多列砂州が形成されるケースとがあったが、60 分間通水を継続すると、初期に複列・多列砂州が形成された全てのケースで交互砂州へと遷移した。初期に交互砂州が形成されたケースでは実験中常に交互砂州が下流方向へと向かい移動し続けた。これは一般的な交互砂州において見られる状況である。しかし初期に複列・多列の砂州が形成されたケースでは、交互砂州へと移行した後も主要な流砂が砂州の比高が低い部分を移動したため、砂州前縁線の移動が生じず、その位置を保ったままであった。（第 3 章）

しかし実河川の河床形態は定常流量の作用のみを受けるのではなく、大小様々な流量の影響を受けた結果として河床形態が形成される。そこで、流量の増減という非定常性、特に流量減少時の挙動に着目して 10 通りの実験を行った。その結果、 τ^* が 0.06 程度、すなわち限界掃流力付近にまで流量が低下した時点での $(B/H)I^{0.2}$ が 30 程度以下のケース（実験 A 群及び B 群）であれば、大流量時に形成された交互砂州の形状と位置を保ったままであった。これは、この条件で流路が分岐の性質を持たないためであり、また、削り込まれた濡筋の部分のみを土砂が移動するために、流砂量は比較的大きい状況であった。

一方で、 τ^* が 0.06 程度の際に $(B/H)I^{0.2}$ が 30 程度以上（実験 C 群、D 群、E 群）であれば、この流量で交互砂州の網状化が進行した。その遷移過程においては、交互砂州の発散部に相当する付近で掃流力が最も低下するため、ここで濡筋の中央部分に土砂が堆積し、元々存在した流路の分岐の性質が増幅され、左右対称の性質が崩れる事によって網状化が進行した。以上の現象は、川幅を様々に変化させて行った数値計算においても確認できた。

網状化するか否かの違いは、 τ^* が 0.06 程度、すなわち移動限界流力の付近において交互砂州の発散部が分岐の性質を持つか否かという違いであり、分岐の性質を持つ場合には土砂移動の停滞と共に分岐の性質が発達し、網状化が生じるという現象を明らかにした。なお、 $(B/H)I^{0.2}$ が 30 というのは黒木ら^{第 1 章の 15)}が線形安定解析の結果導いた値と一致している。（第 4 章）

こうした状況が実河川でも生じているか否かを確認し、また砂州の特徴を捉え、河床形態の遷移が進行した理由について考察するために、より詳細な現地観測を行った。現在交互砂州が形成されている箇所ほとんどが、元々は網状流路だったものの、現在では川幅の縮小に伴い交互砂州へと遷移していた。「網状流路」から「移動しない交互砂州」へと遷移した渡良瀬川の 41km 地点を例に 1947 年以降現在までの水理量と河床形態を調査すると、護岸の建設等に伴う川幅の縮小によって「網状流路」から「移動しない交互砂州」へと 1970 年頃に遷移した。これは 1966 年の既往最大出水時に形成された交互砂州であり、その交互砂州の前縁線の位置が現在まで維持されているものであった。次に浅川の高幡橋（移動する交互砂州）と浅川橋（移動しない交互砂州）の二地点で行った地形測量と交換層厚を含めた土砂動態の観測から、高幡橋地点では砂州前縁線が徐々に下流方向に向かい移動していな

だらかな前縁線を形成しているのに対し、浅川橋地点では濡筋のみを土砂が移動し、前縁線は切り立っていた。また、「移動しない交互砂州」は代表粒径が 5cm 以上の箇所で見られる傾向がある。このような箇所では河原上の土砂が輸送されるほどの水位にはなかなかならず、既往最大流量で形が規定されている交互砂州は、同規模の出水が来るまでは動きにくい。普段の洪水では、濡筋のみで土砂が移動するため二極化が生じ、河原上の樹林化を招いていた。一方で礫径が 5cm 以下の箇所では τ_* が上昇しやすいため、交互砂州が移動を続けているが、この場合でも河原の上流端が削れて下流端に堆積しており、中央部の交換はほとんどなかった。

次に、網状流路が形成されている場合、実験のように洪水時には交互砂州へと遷移した後、網状流路へと戻る河川と常に網状流路という河川があり、前者の場合には交互砂州同様に左右に周期的に蛇行する主流路が見られるのに対し、後者の場合はそれが見られないという違いがある。前者は比較的 τ_* が大きい酒匂川や手取川等で見られる。一方で後者の例は τ_* が大きくなりにくい、川幅の広い天竜川等で見られ、このような河川では二列蛇行等により網状の度合いが高い河床形態が維持される傾向がある。(第 5 章)

以上から、河床形態とその変化の実態を把握し、実験で交互砂州と網状流路の遷移過程を把握すると共に、実験と実河川の対応関係から河床形態が遷移した過程を明らかにした。現状で「移動しない交互砂州」となっている地点においては、 τ_* が 0.06 程度の流量時に $(B/H)I^{0.2}$ が 30 程度以上となるように低水路幅を設定する事によって、かつての網状流路を復元できる可能性がある。(第 6 章)