

砂州波高と河岸侵食の関係

—河道の二極化は河岸侵食を誘発するか—

寒地土木研究所 寒地河川チーム
北海道開発局建設部 河川計画課
寒地土木研究所 寒地河川チーム

○井上 卓也
橋本 慎一
矢部 浩規

近年、陸域と水域の高低差の拡大を表すのに、二極化という言葉が良く使われる。二極化による河川管理上の課題としては、樹林化とそれに伴う流下能力の低下が有名である。本研究は、二極化によって洪水時の河岸侵食リスクも増加するという仮説のもと、砂州波高と河岸侵食幅の関係を水理実験により調査した。この結果、初期の与えた砂州波高の増加に伴い初期の河岸侵食速度が増加することを明らかにした。

キーワード：二極化、砂州、波高の発達、河岸侵食

1. 序論

洪水時に形成された砂州が攪乱を受けず放置されると、やがて草木が繁茂し始める¹⁾。その後、浮遊砂の堆積、滞筋の低下に伴い砂州の波高が増加すると、陸域と水域の境界はより明瞭になる²⁾。再び大規模な出水が発生すれば、地形が攪乱され本来の砂州波高へ戻るのであろうが、ダム等の洪水調整により攪乱が制限されると、陸域と水域の分離はますます進行する。近年、この陸域と水域の分離を表すのに「二極化」という言葉が頻繁に用いられるようになってきている。

二極化がもたらす河川管理上の課題としては、(1) 水域と陸域の移行帯の減少に伴う生物多様性の低下³⁾、(2) 砂州の樹木繁茂による流下能力の低下、(3) 滞筋の低下に伴う護岸の不安定化などが挙げられる (図-1a)⁴⁾。しかし、砂州波高の増大という現象に着目すると、二極化がもたらす別の課題も浮かび上がってくる。例えば、Eke et al. は河川蛇行を引き起こす要因としてbank pullとbar bushという2つの概念を提案している⁵⁾。bank pullは水流による河岸侵食で蛇行が進行する作用であり、bar bushは砂州の発達により流れの編流が生じ蛇行を助長する作用である。また2016年北海道豪雨で多発した河岸侵食に関する研究では、上流からの土砂供給に伴う砂州の発達が河岸侵食を助長させた可能性⁶⁾や、河岸侵食によって発生した土砂が砂州を発達させ、更なる河岸侵食を誘発する可能性⁷⁾などが指摘されている。これらの既往研究を鑑みると、二極化による砂州波高の増大も河岸侵食を助長する要因となり得ると類推される (図-1b)。

しかしながら、二極化における砂州波高の増大は、上述の既往研究で示されているような大規模洪水時にダイナミックに生じる砂州の発達と異なり、中小規模の洪水時に徐々に進行するものである。このため、二極化で

Takuya Inoue, Shinichi Hashimoto, Hiroki Yabe



図-1 二極化の事例

(a) 豊平川：砂州が発達し樹林化、滞筋が低下し護岸が浮き上がっている。(b) 石狩川：2012年の測量時点で砂州波高は4 m 近くあり、2016年の洪水で対岸が侵食した。

州波高が大きくなった河道に、大規模な洪水が発生した場合に河岸侵食がどの程度助長されるのかという観点で検討を行う必要がある。そこで本研究では、初期に砂州を形成しておき、そこへ洪水規模の流量を与える実験を通じて、二極化による砂州波高の増大が河岸侵食速度へ与える影響を調査する。

2. 実験方法

実験で想定した河川区間は、勾配 1/200、低水路幅 80m、高水敷幅 27 m、平均粒径 110 mm の急流河川である。具体的には、二極化が進行している豊平川の直轄上流端付近、または 2016 年の北海道豪雨で河岸侵食が顕著であった常呂川の中上流区間をイメージしている。実験は長さ 50 m、幅 90 cm、勾配 1/200 の直線水路を用いて行い、低水路幅、高水敷幅、粒径は現地の 1/150 スケールにあたる 54.9 cm、17.55 cm、0.77 mm（東北珪砂 4 号）とした。

初期の砂州地形は sine-generated curve を用いて形成し、波長と波高は豊平川の測量横断および航空写真を基に設定し、波長は 5 m（実河川スケールで 750 m）、砂州波高は二極化が顕著に進行した状態を想定した 4.5 cm（実河川スケールで 6.75 m）と二極化する前の砂州波高を想定した 1.5 cm（実河川スケールで 2.25 m）とした。流量は、数十年に一度の洪水を想定した 3 ℓ/s（実河川スケールで 860 m³/s）と平均的な夏期出水（2～3年に一度）を想定した 2 ℓ/s（実河川スケールで 550 m³/s）の 2 パターンとした。実験ケースは初期砂州波高と流量の組み合わせた 4 ケースを設定した（表-1）。

土砂供給は上流端の平均河床高が大きく上昇も低下もしない動的平衡条件とし、Case 1 と Case 2 では 0.2 ℓ/min、Case 3 と Case 4 では 0.08 ℓ/min とした。水路下流端では定期的に流出土砂量を計測し、供給土砂量と大きく差が無いことを確認した。実験中は、水路上方よりデジタルカメラを用いて、河岸侵食形状を撮影するとともに、定規を用いて河岸侵食幅を定期的に計測した。また、通水前と通水後に 3D レーザースキャナーを用いて河床地形を測量した。実験は河岸侵食が進行し側壁に到達するまで継続した。

3. 実験結果

実験における初期水深は Case 1 と Case 2 で約 1.7 cm、Case 3 と Case 4 で約 1.3 cm であった。いずれのケースにおいても高水敷は冠水しておらず、高水敷は側方から侵食された。初期砂州波高が大きい Case 1 と Case 3 では初期の段階から砂州の一部が冠水せず、流れは滞筋へ集中していた。一方、初期砂州波高が小さい Case 2 と Case 4 では、はじめは砂州全体が冠水していたが、時間経過に伴い砂州が発達し、砂州の一部が冠水しなくなり、流れは滞筋へ集中していった。

初期砂州波高が大きい Case 1、Case 3 と初期砂州波高が小さい Case 2、Case 4 の最終的な地形を比べると、初期波高が小さいケースの方の砂州が水路中央付近に寄っているものの、河岸侵食によって生じた流路の平面形状には大きな違いはなかった（図-2）。このことは、河岸侵食が進行した後の流路形状に、初期砂州波高が大きな影響を与えていないことを示している。

表-1 実験ケース

ケース	流量	初期砂州波高
Case 1	3 ℓ/s	4.5 cm
Case 2	3 ℓ/s	1.5 cm
Case 3	2 ℓ/s	4.5 cm
Case 4	2 ℓ/s	1.5 cm

図-3 に示した河岸侵食幅の時間変化を見ると、初期波高が大きい Case 1 と Case 3 では通水開始 15 分までの河岸侵食が速く、徐々に遅くなっていった。一方、初期波高が小さい Case 2 と Case 4 では通水開始 40 分までの河岸侵食が遅く、徐々に速くなっていった。各ケースの河岸侵食幅の傾き（河岸侵食速度）が概ね一定になった後を比較すると、流量の大きい Case 1 の侵食速度が流量の小さい Case 3 の侵食速度より大きいことが分かる。同様のことは初期波高が小さい Case 2 と Case 4 にも当てはまる。以上のことから、初期砂州波高の違いは初期の河岸侵食速度に大きな影響を与えるものの、河岸侵食が進行するにつれ影響は小さくなることが確認された。

ただし、河岸侵食が水路壁に到達した時間を比べると、二極化を想定した Case 1 は二極化を想定していない Case 2 より 1.56 倍速く水路壁に到達する。同様のことは、流量 2 ℓ/s で実施した Case 3 と Case 4 にも当てはまり、Case 3 の側壁到達時間は Case 4 のそれより 1.33 倍速い。実験における水路壁を実河川における堤防と捉えたと、二極化した状態で洪水を迎えた場合、より速く堤防に河岸侵食が到達する危険性が高いと言える。

4. 考察

初期波高によって侵食速度が異なるメカニズムを考察すると、初期波高が小さい場合（二極化していない場合）、砂州による流れの編流が小さいため、初期段階の河岸侵食速度も小さい。洪水が継続し徐々に砂州が発達すると、流れの編流が大きくなり、河岸侵食速度もそれに応じて増加する。一方、初期波高が大きい場合（二極化している場合）、砂州による流れの編流が大きいため、初期段階から河岸侵食速度は大きい。しかし、洪水が継続するにつれ流量規模に見合った砂州波高へ減衰していくため、徐々に侵食速度は小さくなる。

図-3 の点線で示した河岸侵食幅の時間変化の近似直線を比べると、初期波高 4.5 cm で実施した Case 1 と Case 3 の切片が概ね等しく、初期波高 1.5 cm で実施した Case 2 と Case 4 の切片より大きいことが分かる。また、流量 3 ℓ/s で実施した Case 1 と Case 2 の傾きが等しく、流量 2 ℓ/s で実施した Case 3 と Case 4 の傾きより大きいことが分かる。このことから、ある程度時間が経過した後の河岸侵食幅は流量と洪水継続時間に依存するが、二極化による砂州波高の増大は、河岸侵食幅を押し上げる切片の役割を担っていることが分かる。

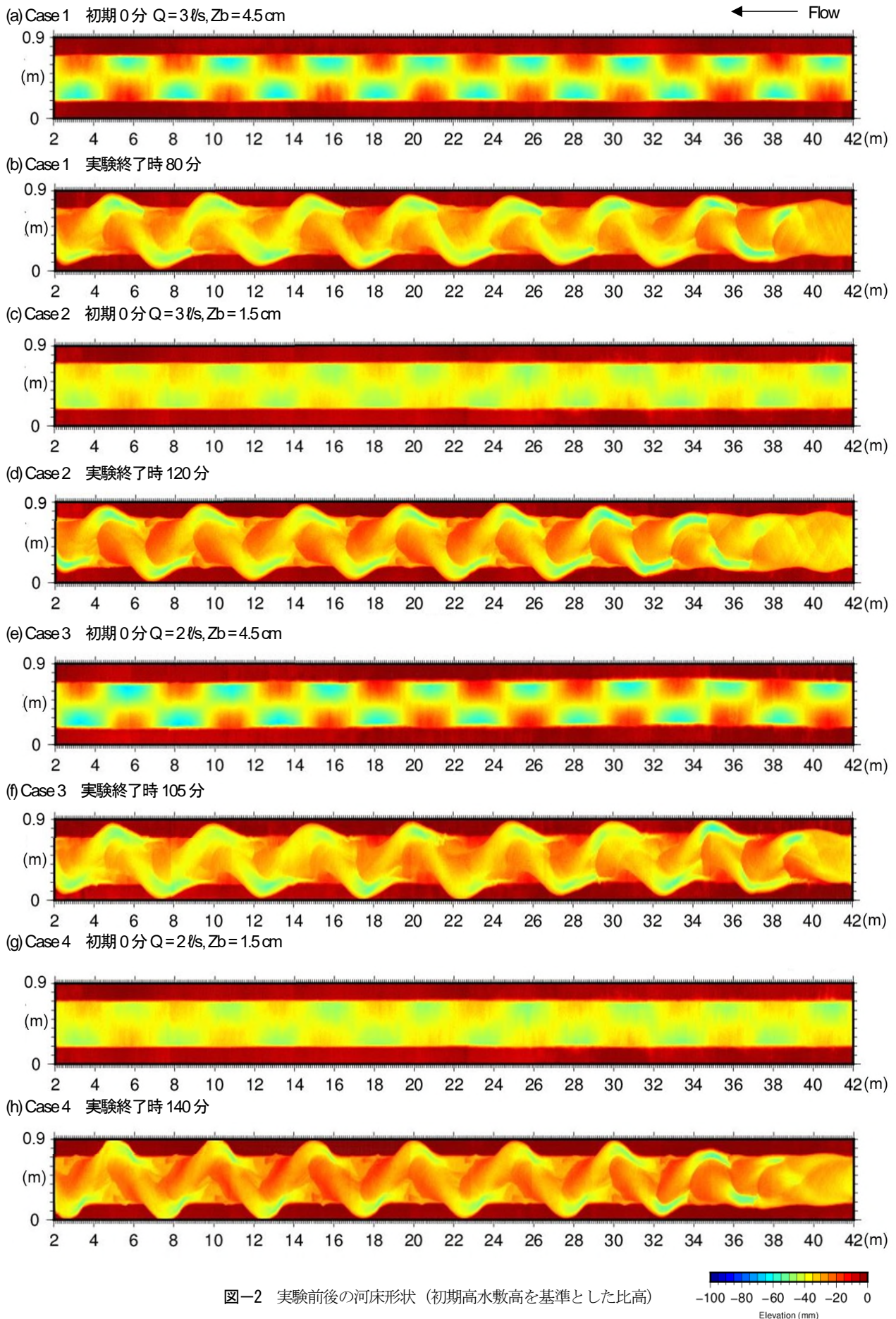


図-2 実験前後の河床形状 (初期高水敷高を基準とした比高)

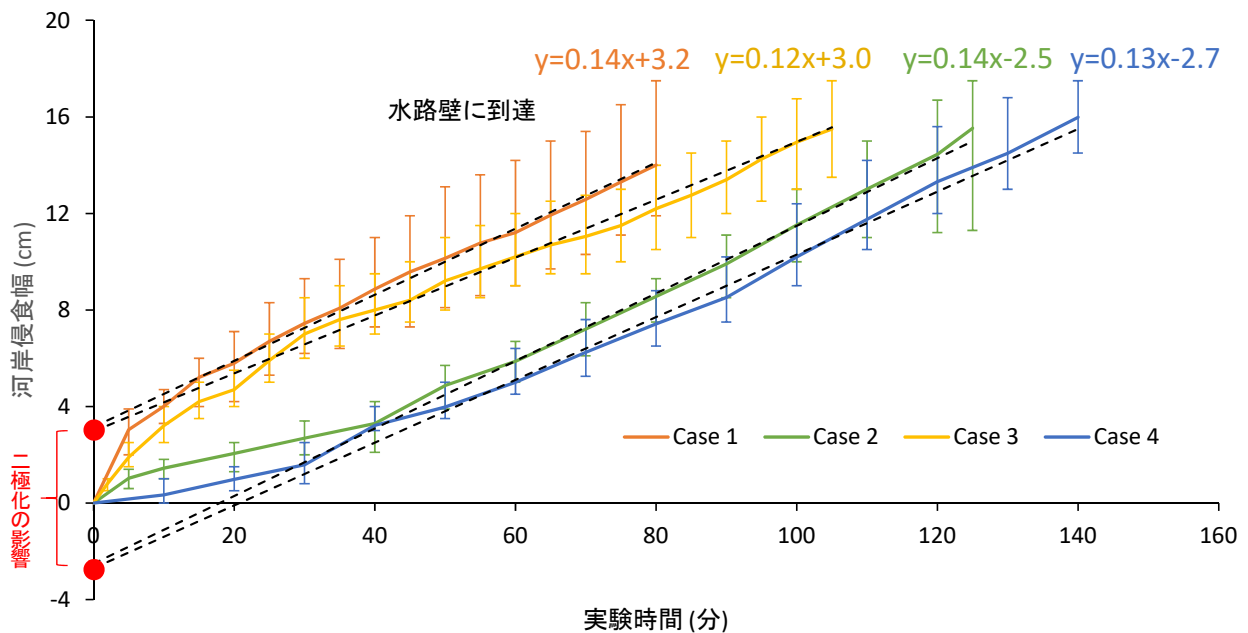


図-3 河岸侵食幅の時間変化

エラーバーは最大値と最小値を表す。点線は侵食速度が概ね一定に達した15分後(Case 1, Case 3)および40分後(Case 2, Case 4)の近似直線

地形学的な時間スケールの河岸侵食速度や最終的な河川地形を知りたい場合には、初期砂州波高の影響は微々たるものであり、無視できる場合も多い。しかし、洪水ハイドロのような有限の時間スケールを対象とする水害研究においては、初期砂州波高の影響は無視できない場合も想定される。フルード則を用いて実験時間を現地スケールへ換算すると、80分が約16時間に相当する。数十年に一度の流量が16時間継続した場合、二極化しているCase 1は侵食が堤防(水路壁)に達するが、二極化していないCase 3は高水敷幅の半分程度しか侵食されない。上記は非常に簡単な想定であり、実河川の河岸侵食幅は、河道法線形、地質、地被状況などの影響を受け、より複雑なものとなる。しかし、本実験によって二極化が河岸侵食を助長する一要素になることは示せたと考える。

5. 結論

本報告では、二極化に砂州波高の増大が河岸侵食に与える影響について水路実験を通じて調査した。以下に本研究で得られた知見を列記する。

- 1) 初期砂州波高が大きい場合、初期の河岸侵食速度が増加する。
- 2) 時間の経過に伴い、流量に見合った河岸侵食速度へ収斂していくため、長い時間スケールの流路形状に対して初期砂州波高の影響は小さい。
- 3) 河岸侵食幅は流量と洪水継続時間に依存するが、二極化は河岸侵食幅を押し上げる「切片」の役割を担っており、短期の河岸侵食幅には大きな影響を与える。

最後に、二極化を抑制することは、生物の多様性や護岸の安定性の維持といった河川管理面の効果だけでなく、河岸侵食による堤防破堤の予防という治水面の効果も有する可能性がある。今後は、実河川を対象に二極化と河岸侵食の関係を分析する予定である。

謝辞：本研究実験は北海道開発局が主催する河道技術研究会の一環として行われました。研究会でご意見を頂いた方々に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 大石哲也, 萱場祐一, 天野邦彦: 全国7河川の河道特性及び地被の長期変動の実態とその関連性, 河川技術論文集, 11, 357-362, 2005.
- 2) 山本太郎, 千葉学: 砂州掘削調査による河道断面の比高拡大プロセスの考察, 土木学会第72回年次学術講演会, 2017.
- 3) 山田浩之, 中村太士: 河畔緩衝帯の生態学的意義と草地開発が水辺の生態系に及ぼす影響(<特集>草地と景観生態学), 日本草地学会誌, 48(6), 548-556, 2002.
- 4) 白戸暢彦, 奥山昌幸, 田代隆志: 豊平川の河道変化に対する対策工の検討について, 第59回(平成27年度)北海道開発技術研究発表会, 2016.
- 5) Eke, E., Parker, G. and Shimizu, Y.: Numerical modeling of erosional and depositional bank processes in migrating river bends with self-formed width: Morphodynamics of bar push and bank pull, J. Geophys. Res. Earth Surf., 2014.
- 6) 井上卓也, サムナー圭希, 加藤一夫, 六浦和明, 矢部浩規, 清水康行: 2016年北海道豪雨における九線橋被災メカニズムの調査と解析, 河川技術論文集, 23, 2017.
- 7) 山口里実, 久加朋子, 清水康行, 泉典洋, 渡邊康玄, 岩崎理樹: 河道内の土砂動態と流路変動の関係, 土木学会論文集 B1, 74(4), I_1153-I_1158, 2018.