

# 護岸を有する水路での河床変動実験と安定河道の条件に基づく被災形態の把握

九州工業大学大学院 学生会員 ○柴内 有人・正会員 重枝 未玲

## 1. はじめに

近年、事前防災の観点から、予防保全型の河道の維持管理が重要になっている<sup>1)</sup>。計画的な維持管理を進めるには、被災リスクが高い区間を事前に予測し、機能低下を未然に防ぐことが不可欠である。大局的な河道の応答と河岸や護岸の被災リスクの把握には、河川の縦断情報より推定される自然安定河道が形成される条件<sup>2),3)</sup> (以下、「安定河道の条件」)は有用であることも示されている<sup>4)</sup>。また、「安定河道の条件」は、実験スケールにも適用可能であることが示されている<sup>5)</sup>。「安定河道の条件」を基準にした実験的な検討は、実河道の河岸や護岸の被災リスクの評価に有用な情報を提供できると考えられる。本研究は、以上のような背景を踏まえ、「安定河道の条件」に基づき護岸の被災形態を実験的に把握したものである。

## 2. 安定河道の条件と式

安定河道は、流水・流砂の変動履歴により、河道縦横断面形状が経年的に安定した河道である<sup>2)</sup>。河道の縦断特性である、河道形成流量 $Q$ 、河道のセグメント特性(河床勾配: $I$ 、河床材料の代表粒径: $d_R$ )、抵抗特性 $\phi$ を与条件として、河道の縦断特性と横断特性をつなぐ関係が、安定河道の条件である。

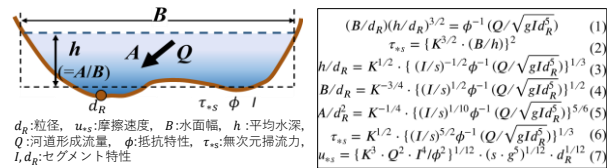


図-1 重要な諸量の定義図

図-1に安定河道の式の重要な諸量の定義図と安定河道の条件式を示す。安定河道の断面平均スケール( $h/d_R$ ,  $B/d_R$ )および動的平衡状態にある無次元掃流力 $\tau_{*s}$ は、式(1)の等流の関係式と式(2)の安定河道の発生条件から、式(3)~(7)となる<sup>2),3)</sup>。 $K$ は自然安定河道の $\tau_{*s}$ と川幅水深比 $B/h$ との関係を規定する係数である。

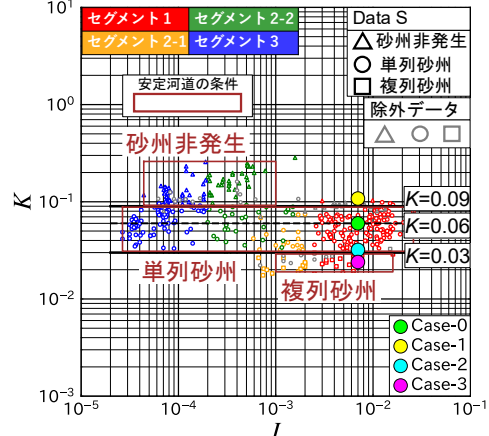


図-2 安定河道の条件

## 3. 実験の概要

本実験では、図-2の単列砂州での安定河道範囲( $K = 0.06$ )を基準として実験条件(Case-0)を設定し、水面幅と底面幅を変化させたCase-1~3の3通りの実験を実施した。表-1に実験条件を示す。図-2に、各Caseの実験条件と安定河道の条件との関係を示す。勾配によるセグメントはセグメント1である。

Case-2と3の条件は安定河道の範囲には含まれるが、実験条件はCase-0を基準に設定しているため河道は安定ではなく変動する条件になる。

実験は、図-3に示す幅1.0 m、長さ9.0 m、勾配1/143の水路で実施した。底面には、水中比重 $s=1.54$ 、粒径 $d_R=0.92$  mmの一樣粒径を厚さ0.07 mで敷き詰めた。護岸は、縮尺1/50とし、河川構造物設計要領に基づき、法勾配を0.5割勾配、基礎工の根入れ深さを0.01 mとして設置した。図-3のように、法覆工を幅0.282 m、高さ9 cm、厚さ3 mmで、帯工を幅0.013 m、高さ0.09 m、厚さ0.01 mで、基礎工を長さ0.285 m、厚さ0.01 mで、アクリル板を用いて作成した。流量 $Q=0.002$  m<sup>3</sup>/sを上流端から供給し、400分間あるいは護岸が被災するまで通水した。

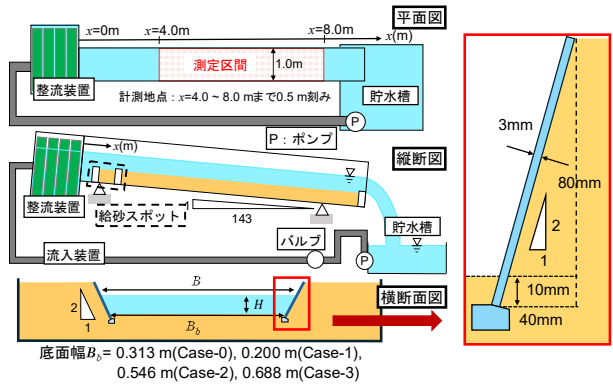


図-3 実験装置

表-1 実験条件

実験条件	水路床勾配	流量(m <sup>3</sup> /s)	水路幅(m)	平均粒径(mm)	底面幅(m)
Case-0	1/143	0.002	0.383	0.92	0.313
Case-1			0.270		0.200
Case-2			0.616		0.546
Case-3			0.758		0.688

測定項目は水位と河床位である。いずれも iPad Pro の LiDAR スキャナを用いて計測を行い、点群データを後処理することで求めた。水位は、側壁からクロスレーザーを照射し、表面画像付きの河道形状データから水面位置を特定することで計測した。河床位は、各横断面で基準とする標高を測量し、両岸の標高と点群データの標高が等しくなるように水平補正、回転補正を行うことで計測した。

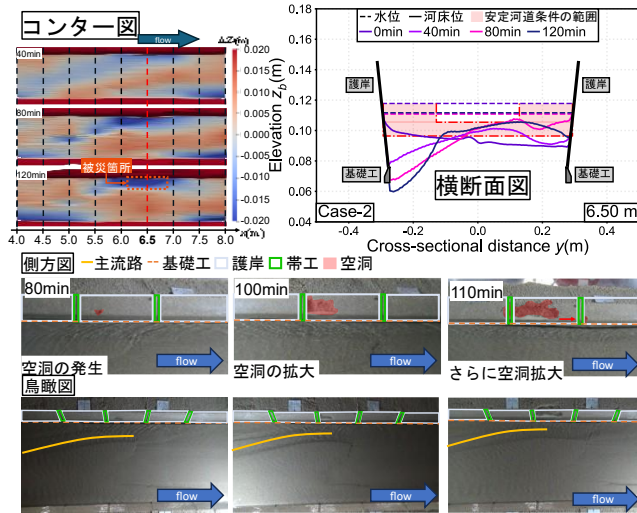


図4 Case-2の河床位と平均河床位 $z_{ba}$ の差のコンター図と横断面形状 ( $x = 6.5$  m) と流況写真の経時変化

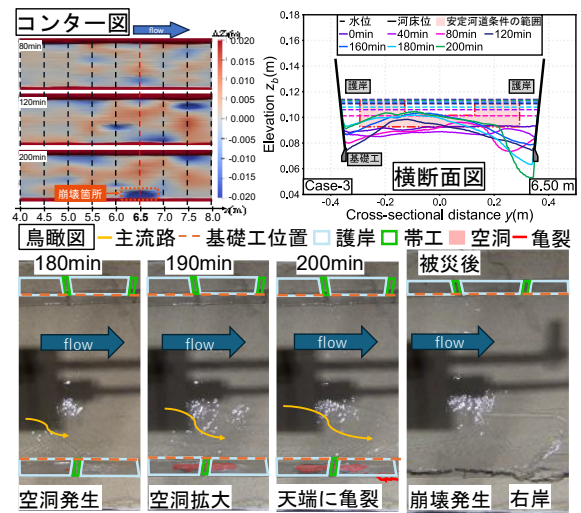


図5 Case-3の河床位と平均河床位 $z_{ba}$ の差のコンター図と横断面形状 ( $x = 6.5$  m) と流況写真の経時変化

#### 4. 結果と考察

護岸の被災は、Case-0とCase-1よりも川幅の狭いCase-2では発生せず、Case-0よりも川幅の広いCase-2と3では護岸前面の河床が洗掘された後、背面土砂の吸出しが発生し、Case-2では基礎工と法覆工の崩壊まで至らなかったものの、Case-3では崩壊が発生した。

Case-0と1では、護岸前面での河床は低下し、Case-0で基礎工の設置高さより深い河床洗掘が生じるものの、砂が再堆積することで護岸が被災するような洗掘には至らないことが確認された。

図4にCase-2、図5にCase-3の河床位と平均河床位 $z_{ba}$ の差のコンター図と被災箇所 ( $x = 6.5$  m) の横断面形状と流況写真の経時変化を示す。図4のコンター図からCase-2では単列砂州が形成された後、40分以降に流路が形成され、護岸前面の洗掘が発生・進行することが確認できる。図4の横断面図と流況写真から、80分以降に洗掘が基礎工の根入れ深さまで進行し、基礎工下部の河床材料が流出するとともに、基礎工下部の一部区間からの河川水の流入、護岸背面の土砂の吸出しが発生し、これによって空洞が発生・拡大し、 $t = 110$ 分後には護岸背面の大量の土砂が吸い出される様子が確認できる。図5のコンター図より、Case-3では複列砂州が形成された後、100分以降に $x = 6.5$  mでは右岸側に向かう流路が形成され、護岸前面の洗掘が発生・進行することが確認できる。図4の横断面図と流況写真から、180分以降に基礎工の根入れ深さまで洗掘が進行し、Case-2と同様なプロセスにより複数の空洞が発生し、空洞が拡大した後、天端に亀裂が生じ、 $t = 200$ 分後には護岸が崩壊したことが確認できる。このように、Case-2と3のいずれも、護岸前面での河床洗掘が発生し、洗掘が基礎工の根入れ深さを超えて設置高さよりも深く発達した後、Case-2では護岸背面の土砂の吸い出しが、Case-3では護岸背面の土砂の吸い出しにより空洞が発生・拡大した後、護岸の崩壊が発生した。

図6に、各Caseの実験結果と安定河道の条件との関係を示す。図中には被災が発生した時の実験結果を×で示している。本研究の実験結果の範囲では、基準とした単列砂州での安定河道範囲( $K = 0.06$ )のCase-0に比べ、 $K$ 値が小さい場合に護岸の被災が発生し、護岸の被災はいずれも初期の $K$ 値に比べ大きな値で生じており、安定河道の条件から求まる川幅に比べ、現状の川幅が大きい場合に、河道は護岸の被災が発生する方向に変動する特性を有すると考えられる。

#### 5. おわりに

本研究から、安定河道川幅と比較して川幅が広い河道では、護岸前面の洗掘が基礎工根入れ深さまで進行した後、基礎工下部から護岸背面土砂の吸出しが発生し、護岸の崩壊につながる可能性があることが確認された。このように、「安定河道の条件」は、護岸の被災リスクを評価する上で一つの指標であると考えられる。

参考文献: 1) 国土交通省: 河川砂防技術基準維持管理編(河川編), [https://www.mlit.go.jp/river/shishin\\_guideline/gijutsu/gijutsukijunn/tjikanri/kasen/pdf/tjikanri\\_kasen\\_all\\_2025.pdf](https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/gijutsu/gijutsukijunn/tjikanri/kasen/pdf/tjikanri_kasen_all_2025.pdf), 2021. 2) 秋山ら: 河川技術論文集, 第23巻, pp.471-476, 2017. 3) 秋山ら: 土木学会論文集B1(水工学) Vol.74, No.5, pp.I\_985-I\_990, 2018. 4) 重枝ら: 土木学会論文集B1 (水工学), Vol.78, No.2, pp. I\_187-192, 2022. 5) 重枝ら: 土木学会論文集, Vol.80, No.16, 23-16180, 2024.

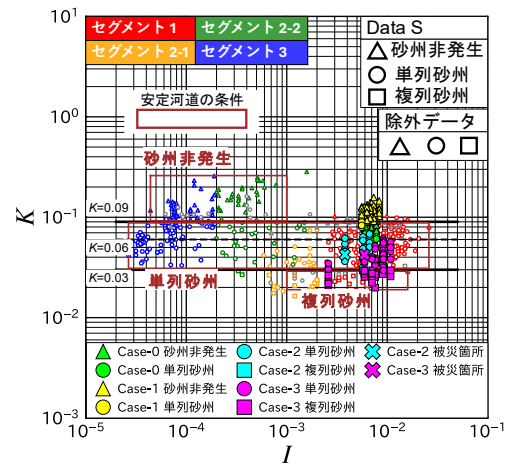


図6 各Caseの実験結果と安定河道の条件との関係