

川幅の制約が安定した動的平衡縦横断面形状に及ぼす影響

九州工業大学工学部 学 生 会 員 ○下田 倫太郎 九州工業大学大学院 正 会 員 重枝 未玲
九州工業大学名誉教授 フェロー会員 秋山 壽一郎 九州工業大学大学院 学生会員 桂 佑樹

1. はじめに

近年、河道の維持管理は、流下能力の確保に加え、河道の安定性の観点が必要となる¹⁾。河道の安定性を検討する基準として、福岡の式²⁾や著者らの安定河道の式³⁾が提案されており、河道の安定性を維持できる河道横断面形状については明らかになりつつある。一方で、改修後の河道など、全ての河道が安定河道であるわけではなく、そのような河道の変動特性を把握することは将来河道の予測につながり、今後の河道の維持管理にとって重要な情報になると考えられる。本研究では、以上を踏まえ、護岸等による川幅の制約が安定した動的平衡縦横断面形状に及ぼす影響について検討した。

2. 安定河道の式

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 τ_{*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)~(6)となる³⁾。図-1に重要な諸量の定義図を示す。同式では、河道形成流量 Q 、セグメント特性(I , d_R)、抵抗特性(ϕ)が与条件となる。式(2)の関係は、レジーム則に基づき得られた自然安定河道に関する条件であり、中規模河床形態の領域区分図⁴⁾⁵⁾とほぼ同様な関係になっている。これは、安定河道と砂州の発生のいずれも川幅スケールに規定される縦横断特性であるからである。ここに、 K はセグメントグループで決まる係数である。

3. 実験の概要

川幅に制約のない河道の実験データ(Case-SW1~3)については、福岡・山坂⁶⁾(Case-SW1, 2), 平野⁷⁾(Case-SW3)のデータを用いた。川幅が制約された河道の実験データ(Case-CW1, 2)については、図-2に示す実験装置を用いて実施した。水位及び河床位の測定はビデオカメラを用いて撮影した画像を画像解析することで行なった。各ケースの実験条件は表-1に示す。Case-SWの詳細については参考文献⁶⁾⁷⁾を参照されたい。

4. 結果と考察

図-3に、Case-SW3の水位・横断面形状の実験結果と式(3), (4)より求められる安定河道断面を示す。なお、後述するように、 K 値は0.05~0.07程度の幅に収束することから、 $K=0.05\sim0.07$ を安定河道範囲とした。これより、川幅に制約のない河道では、初期河道は安定河道よりも平均水深が深く、川幅は狭いものの、時間の経過とともに、川幅が拡幅するとともに河床上昇し、平均河床を用いた矩形断面は安定河道範囲に収まることが確認できる。

図-4に、Case-CW1について各測定点の河床形状、勾配、 K 値の実測値の時間変化を示す。これより、(1)砂の堆積により河床・水位が上昇していること、(2)勾配は、全測定点で河床が上昇し始めた120min以前では初期勾配付近で安定していること、(3)120min以降では勾配が低下し180min以降で再び安定していること、(4)120min以前では河床変動により K 値が減少していること、(5)120min以降では勾配変化により、 K 値が減少し180min以降で一定値($K=0.055$)となること、などが確認できる。また、Case-CW2についても同様な傾向にあった。このように、本研究の条件の河道は、水位・河床位が上昇し、流下能力が低下する方向へと変動し安定した横断面形状になることが確認できる。

以下では、このような河道と安定河道の条件との比較を行った。図-5, 6に、無次元掃流力 τ_* と川幅水深比(B/h)との関係、 K 値と勾配 I との関係を示す。図中の矢印は、時間の経過とともに、河道が応答する方向を示している。これ以降の図においても同様である。これより、(1)Case-SWのデータは、一定の河床勾配を保ち、 K 値は時

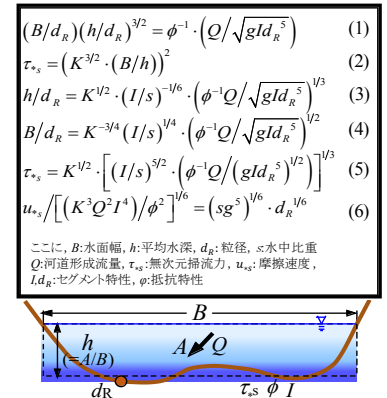


図-1 重要な諸量の定義図

表-1 実験条件

Case名	流量(m³/s)	河床勾配	水路幅(m)	粒径(mm)	通水時間(min)
Case-SW1	0.002	1/400	0.4	0.067	120
Case-SW2	0.002	1/400	0.4	0.067	120
Case-SW3	0.0048	1/60	1.2	0.083	50
Case-CW1	0.003805	1/230	0.4	0.089	230
Case-CW2	0.003805	1/450	0.4	0.089	900

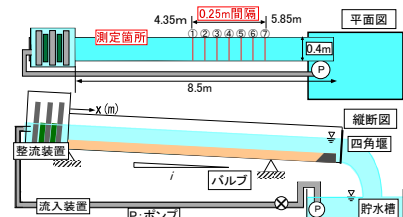


図-2 Case-CWの実験装置図

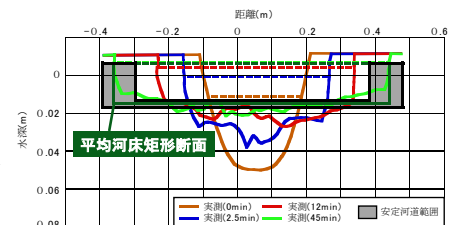


図-3 Case-SW3の水位・

横断面形状の実験結果

間の経過とともに小さくなり、単列砂州の安定河道範囲の平均値付近に漸近すること、(2)Case-CW のデータは、はじめは Case-SW のデータと同様な挙動を示すが、 $K=0.09$ の境界付近で川幅に制約があるため B/h の変化が小さくなり、勾配を変化させながら、単列砂州の安定河道範囲の平均値付近に漸近すること、などがわかる。

図-7 に Case-CW1 の水位・横断面形状の実験結果と式(3)、(4)より導かれる安定河道断面を示す。これより、(1)勾配が初期河床と同程度となる 120min 以前は河床形状の変化により安定河道断面が変化しており、実測断面と差がみられること、(2)120min 以降は勾配が変化することで安定河道断面が実測断面に漸近していること、(3)230min の実測断面は安定河道範囲に収まること、などが確認できる。

実務では、改変後の河道の応答を検討する上で、図-8 示すような山本⁸⁾の摩擦速度の二乗 u_*^2 と代表粒径 d_R との関係が用いられる。山本⁸⁾は、改変後の河道は、図中の赤線の関係に近づくように応答することを示している。しかし、今回の実験結果は、いずれのデータも図中の赤線

の関係から外れ、その応答方向は逆となる。一方で、図-5 や図-6 は実験値でも適用可能であり、その応答も検討可能である。一般に勾配の変化は川幅と水深に比べ時間を要するので、整備計画程度の年数の場合には、実河道では本研究のように、勾配を変えながら安定河道に近づくとこまでは応答せず、安定河道領域の上限周辺に止まると考えられる。今後、実河道の経年変化について調査・分析し、同じ傾向を有するようであれば、図-5 や図-6 は河道の現況を把握することが可能になると考えられる。

5. おわりに

本研究から、(1)川幅の拘束に関係なく時間の経過とともに安定河道形状に漸近するが、そのプロセスは異なること、(2)その形状は安定河道の式で予測可能であること、(3)河道の応答を検討する上で、図-5、6 の関係は有用であること、などを示した。

謝辞：研究は、国土交通省河川砂防技術研究開発の助成を受けた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献：1) 国土交通省：河川砂防技術基準維持管理編，http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/gijutsu/gijutsukijunn/ijikanri/kasen/pdf/gijutsukijun.pdf, 2011.，2) 福岡ら：研究紀要(XXIV)，北海道河川財団，pp.123-164, 2013.，3) 秋山ら：河川技術論文集，第 23 巻，pp.471-476, 2017.，4) 黒木・岸：土木学会論文集，第 342 号，pp.87-96, 1984.，5) 村本・藤田：京都防災研究所年報，第 20 号，B-2，pp.243-258, 1977.，6) 福岡・山坂：土木学会論文集，第 351 巻/II-2，pp.87-96, 1984.，7) 平野：土木学会論文 報告集，第 210 号，pp.13-20, 1973.，8) 山本：沖積河川・構造と動態-，技報堂出版，p.587, 2010.

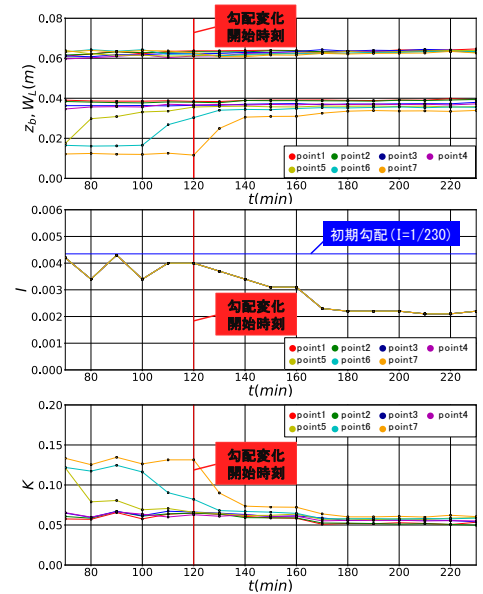


図-4 Case-CW1 の河床形状、勾配の実測値の時間変化

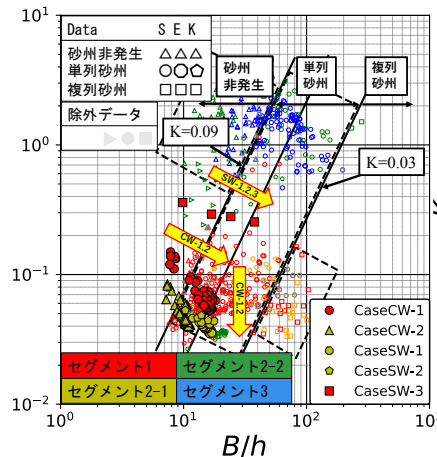


図-5 τ_* と B/h との関係

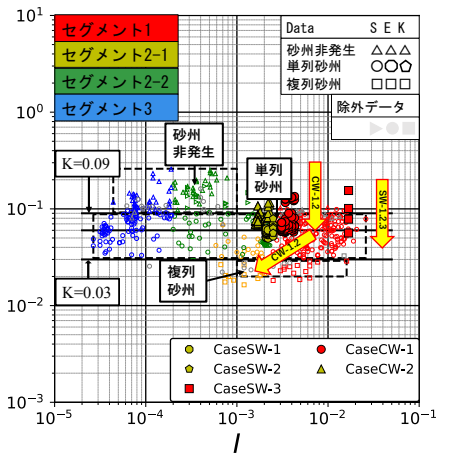


図-6 K と I の関係

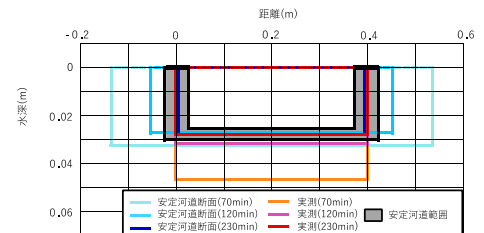


図-7 Case-CW1 の水位・横断面形状の実験結果

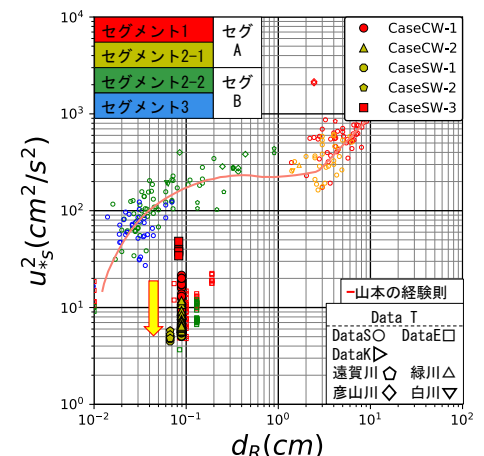


図-8 山本⁸⁾の関係