

安定横断面形状に基づく現況河道の変動特性の把握

九州工業大学工学部 学生会員 ○濱田 信吾 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 伊藤 翔吾

1. はじめに

河道の維持管理には、流下能力の確保に加え、河道の健全性を確認する技術が必要となる¹⁾。近年の安定河道知見により、自然河道の安定横断面形状が明らかになりつつある^{2),3),4)}。安定した状態にない河道は、自己形成メカニズムにより安定横断面形状を形成しようとするため変動しやすいと考えられる。安定横断面形状を基準に現況横断面の変動特性を評価できれば、河道の維持管理に有用な情報となる。本研究では、以上を踏まえ、①室内実験に基づく河道の動的平衡縦横断面形状の変動プロセスの把握と②実験結果に基づく河道の変動特性の把握を実施した。

2. 安定河道の式と安定河道の発生条件

安定河道の断面平均スケール(h/d_R , B/d_R)、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)で表される^{3),4)}。図-1に、同式の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、レジーム則に基づく自然安定河道の条件であり、砂州の発生領域^{5),6)}とほぼ同様な関係となる。表-1に、既存の安定河道に関するデータ^{3),4)}に基づき定められた安定河道横断面の発生条件を示す。この条件は、流砂量が縦断的に一定となる動的平衡条件、すなわち、芦田・道上式⁷⁾を代表とする1.5乗則の流砂量式から導かれる $\phi B^{2/3}h = \text{const.}$ も満たす⁸⁾。ただし、限界掃流力の影響は無視する。

3. 室内実験の概要と実験結果に基づく河道の応答の把握

実験データには、川幅に制約がなく拡幅過程にある実験データ(Case-SW1~3)と川幅が固定された実験データ(Case-CW1~3)を用いた。Case-SWでは福岡・山坂⁹⁾(Case-SW1・2)、平野¹⁰⁾(Case-SW3)のデータを、Case-CWでは図-2の実験装置で得られたCase-CW1~3を用いた。初期の川幅と水深は、式

(3), (4)の安定河道幅と水深(K 値が平均値の0.06)に比べて、Case-CW1・2では狭く深く、CW3では広く浅く設定した。各Caseの実験条件を表-2に示す。図-3にCase-SW3, CWの水位・横断面形状の実験結果と安定河道断面との比較、図-4にCase-CW1, 3の勾配, K 値, $\phi B^{2/3}h$ の実測値の時間変化を示す。安定河道範囲は、平均値と標準偏差より定めた $K=0.04\sim 0.08$ とし、 $\phi B^{2/3}h$ は最下流の値を代表値 $\phi_R B_R^{2/3} h_R$ として無次元化している。これらより、(1)Case-SWでは川幅拡大、水位・河床位が上昇、Case-CW1では水位・河床位が上昇し、それぞれ流下能力が低下する方向に変動し $K=0.06$ 程度の安定河道横断面形状へ向かうこと、(2)Case-CW3では水位・河床位が低下し流下能力が向上する方向に変動するが、上下流の堰により全幅で流れが生じることで川幅が縮小せず、川幅に対応して水深が決まり、平均値よりも小さい $K=0.04\sim 0.05$ 程度の安定河道横断面形状へ向かうこと、(3)勾配は、初期を

$$\begin{aligned} (B/d_R) \cdot (h/d_R)^{3/2} &= \phi^{-1} \cdot (Q/\sqrt{gI d_R^5}) & (1) \\ \tau_{*s} &= \{K^{3/2} \cdot (B/h)\}^2 & (2) \\ B/d_R &= K^{3/4} \cdot \{(I/s)^{1/2} \cdot \phi^{-1} \cdot (Q/\sqrt{gI d_R^5})\}^{1/2} & (3) \\ h/d_R &= K^{1/2} \cdot \{(I/s)^{-1/2} \cdot \phi^{-1} \cdot (Q/\sqrt{gI d_R^5})\}^{1/3} & (4) \\ \tau_{*s} &= K^{1/2} \cdot \{(I/s)^{5/2} \cdot \phi^{-1} \cdot (Q/\sqrt{gI d_R^5})\}^{1/3} & (5) \\ u_{*c} &= \{K^3 \cdot Q^2 \cdot I^4 / \phi^2\}^{1/12} \cdot (sg)^{1/12} \cdot d_R^{1/12} & (6) \end{aligned}$$

d_R : 粒径, u_{*c} : 摩擦速度, B : 水面幅, h : 平均水深, ϕ : 流速係数, I : 河床・エネルギー勾配, Q : 河道形成流量, τ_{*s} : 無次元掃流力

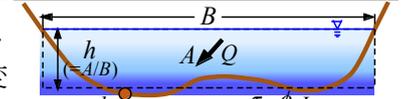


図-1 重要な諸量の定義図

表-1 安定河道の発生条件

I	セグメント1と2-1		セグメント2-2と3	
	復列砂州領域	単列砂州領域	砂州非発生領域	砂州非発生領域
1.00×10^{-3} ~ 1.60×10^{-2}	5.88×10^{-4} ~ 2.60×10^{-2}	2.66×10^{-5} ~ 1.50×10^{-3}	4.40×10^{-5} ~ 1.00×10^{-3}	4.40×10^{-5} ~ 1.00×10^{-3}
K値	0.02~0.03	0.03~0.09	0.09~0.26	0.09~0.26
τ_{*s}	セグメント1	セグメント2-1	セグメント2-2	セグメント3
	0.03~0.16	0.03~0.20	0.47~3.08	0.59~3.80
B/h	37~103	10~60	39~155	10~34

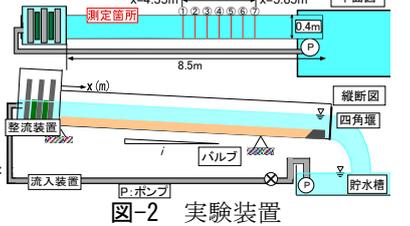


図-2 実験装置

表-2 実験条件

Case名	河床勾配	流量(m ³ /s)	水路幅(m)	粒径(mm)	初期側厚(cm)
Case-SW1	1/400	0.002	0.4	0.67	6
Case-SW2	0.0168 (約1/60)	0.0048	1.2	0.83	8
Case-SW3					
Case名	河床勾配	流量(m ³ /s)	水路幅(m)	粒径(mm)	
Case-CW1	1/230	0.003805	0.4	0.89	
Case-CW2	0.003805	0.003805	0.4	0.89	
Case-CW3	1/214	0.001545	0.4	0.89	

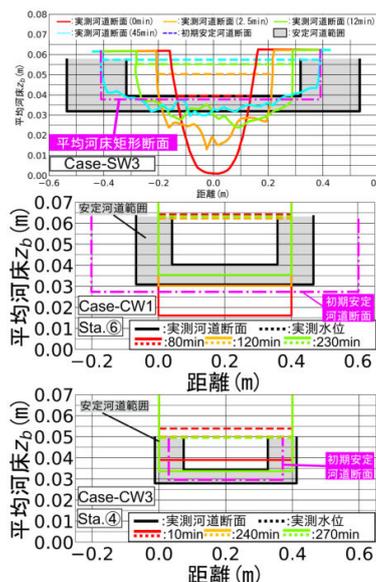


図-3 安定河道断面との比較

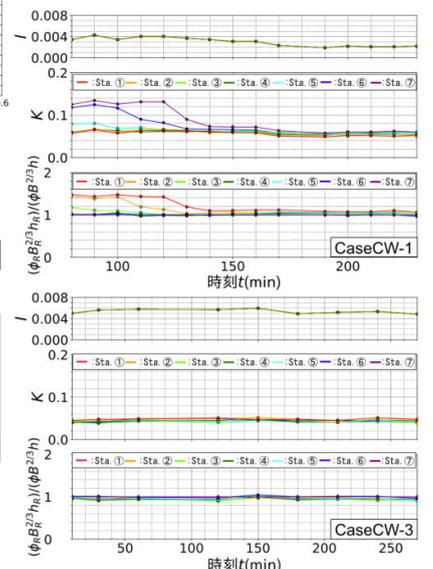


図-4 Case-CW1, 3の実験結果

除いて一定となった後、低下し、再び一定となること、 $(4)\phi_R B_R^{2/3} h_R / (\phi B^{2/3} h)$ は、時間経過に伴い一定値となり安定河道になること、が確認できる。また、Case-CW2は、CW1と同様の傾向を示した。図-5にCase-SWとCWの実験結果と安定河道の発生条件との比較を示す。図中の矢印は河道の応答方向を表す。これより、(1)Case-SWは、時間経過で勾配は一定でK値が減少し、単列砂州の安定河道範囲の平均値に漸近すること、(2)Case-CW1・2は、初めCase-SWと同様の挙動を見せた後、 $K=0.09$ の境界付近で川幅の制約によりB/hが減少し、勾配変化により安定河道範囲の平均値に漸近すること、(3)Case-CW3は、 $K=0.03$ の境界付近から勾配変化により安定河道の平均値付近に近づくが、平均値まで至らず途中から振動すること、が確認できる。一般に勾配は川幅と水深に比べ変化に時間を要するので、整備計画程度の年数では、実河道で勾配が変化するまでは応答せず、安定河道範囲の上限周辺に留まると考えられる。

4. 実河川の現況把握

実験結果を踏まえA川の41.0~47.8kmの区間を対象に現況把握を行った。低水護岸はほとんどの区間で設置されている。H20とH23の粒径 d_R は調査結果が不明のためH14のデータを用いた。河道形成流量は、対象区間内の水位観測所の平均年最大流量($Q=155m^3/s$)を用いた。図-6にA川のデータ(Data R)と安定河道の発生条件との比較、図-7に河道の安定性の判断指標と安定河道範囲との比較を示す。A河川では、図-6の赤枠(距離標46~47kmのH26のデータ)と青枠(44~46km内のデータ)で中規模河床形態が複列から単列砂州に変化するデータを除き、青枠ではCase-CW3に、その他についてはCase-CW1・2に類似していることがわかる。実験結果によれば、赤枠・青枠を除く区間では経年的に河床が上昇、青枠の区間では低下傾向であるが、A川同区間の平均河床変動量も同様な傾向にあった。図-7より、赤枠・青枠を除く区間でK値以外の諸量は安定河道領域に含まれていることが確認できる。縦断的な河道の安定性を表す $\phi_R B_R^{2/3} h_R / (\phi B^{2/3} h)$ も、H26では一定となる区間が複数存在し、これらの条件を満たす河道は安定する方向にあると考えられる。

5. おわりに

本研究から、(1)河道が動的平衡状態へ向かう場合、川幅拘束に関係なく時間経過とともに安定河道形状に漸近するが、その過程は異なり拘束がある場合は勾配を変えながら安定河道に近づくこと、(2)安定河道断面と現況河道の比較から、今回の実験は限定的なので今後更なる検討が必要ではあるが、河道の変動特性が把握可能であること、が確認された。

謝辞：本研究は、河川砂防技術研究開発による助成のもとに遂行された。ここに記して感謝の意を表す。

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：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)秋山ら：土木学会論文集 B1(水工学)，Vol.74,No.5,pp.I_985-I_990，2018。5)黒木・岸：土木学会論文集，第342号，pp.87-96，1984。6)村本・藤田：京都防災研究所年報，第20号，B-2，pp.243-258，1977。7)芦田・道上：土木学会論文集，第206号，pp.59-69，1972。8)椿：水理学II，基礎土木工学全集，森北出版株式会社，1973。9)福岡・山坂：土木学会論文集，第351巻/II-2，pp.87-96，1984。10)平野：土木学会論文 報告集，第210号，pp.13-20，1973。

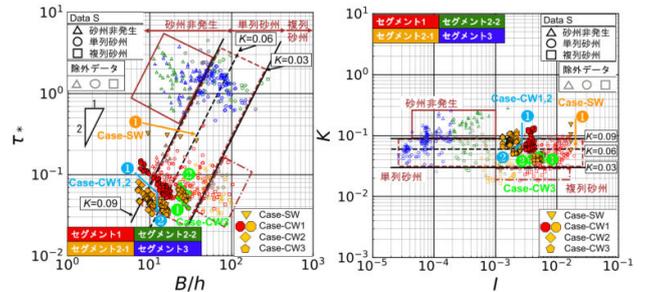


図-5 実験結果と安定河道発生条件との比較

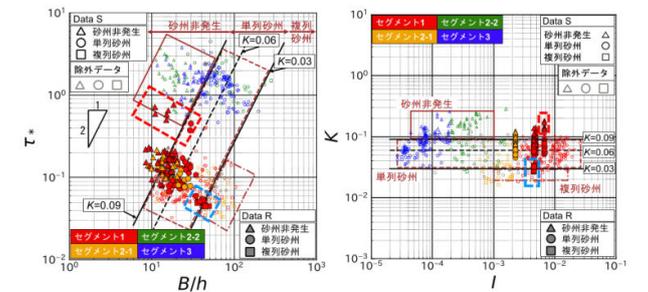


図-6 A川データと安定河道発生条件との比較

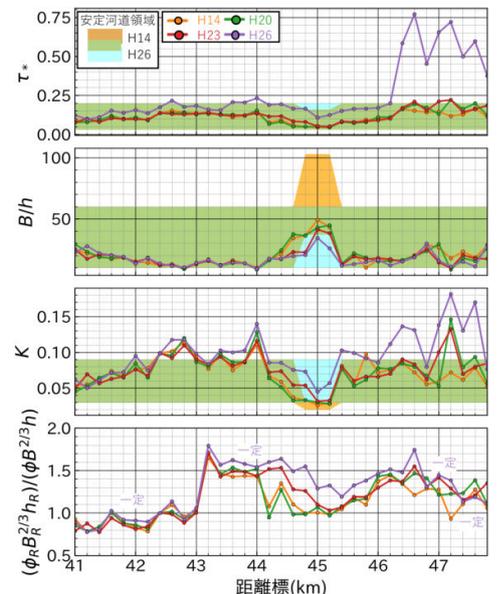


図-7 河道の安定性の判断指標と安定河道範囲の比較