

安定河道を基準とした拡幅過程にある河道の変動特性の把握

九州工業大学工学部 学 生 会 員 ○太田 幸子
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 正 会 員 重枝 未玲
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になっている¹⁾。河道の安定性を検討する基準として、安定な横断面形状を推定可能な福岡の式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、土地利用等の制約条件から、全ての河道が安定河道となっているわけではなく、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。本研究は、以上のような背景を踏まえ、川幅が拡幅過程にある河道を対象に、安定河道の横断面形状との比較から、その変動特性について検討したものである。

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^* 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。なお、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。

3. 拡幅過程にある河道の変動特性と安定河道との比較

拡幅過程にある河道の実験データには、福岡・山坂⁶⁾、平野⁷⁾のデータを用いた。福岡・山坂⁶⁾の実験では、長さ8(m)、幅0.4(m)、側壁高さ0.3(m)の可変勾配水路に、粒径0.067(mm)の一樣砂を1/400の勾配に敷きならした状態で、水路中央に底面幅0.05(m)、斜面角30°の台形断面を作成した後、上流から一定流量 $Q=0.002(\text{m}^3/\text{s})$ を120分通水し、河道の変動が計測されている。実験は、初期河床高を0.06(m)としたSW-1、初期河床高を0.08(m)としたSW-2の2ケースが実施されている。平野⁷⁾の実験では、水路長さ15(m)、幅1.2(m)の可変勾配水路に、粒径0.083(mm)の一樣砂を0.0168の勾配に敷きならした状態で、水路中央に底面幅0.3(m)、深さ0.05(m)の溝を作成した後、上流から一定流量 $Q=0.0048(\text{m}^3/\text{s})$ で50分通水し河道の変動が計測されている。なお、いずれの実験も上流での給砂は行われていない。図-2に、福岡・山坂⁶⁾、平野⁷⁾の拡幅過程の実験結果を示す。

図-3に、安定河道と砂州発生領域を示す。図中の枠内が砂州発生領域毎における安定河道領域である。なお、図中には、この関係を作成する際に使用したデータ³⁾についてもあわせて示している。

また、図中の矢印は、時間の経過とともに実験値が変化する方向を示しており、これ以降の図においても同様である。これより、福岡・山坂⁶⁾のデータは単列砂州の領域で、安定河道となる領域に含まれること、平野⁷⁾のデータは、砂州非発生と単列砂州の二つの領域を遷移しており、砂州非発生では安定河道領域に含まれておらず、単

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

ここに、 B :水面幅、 h :平均水深、 d_R :粒径、 s :水中比重
 Q :河道形成流量、 τ_{*s} :無次元掃流力、 u_{*s} :摩擦速度、 I, d_R :セグメント特性、 ϕ :抵抗特性

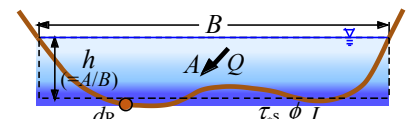


図-1 重要な諸量の定義図

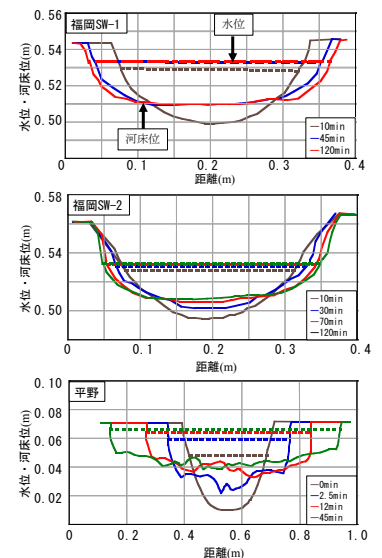


図-2 福岡・山坂⁶⁾、平野⁷⁾の実験結果

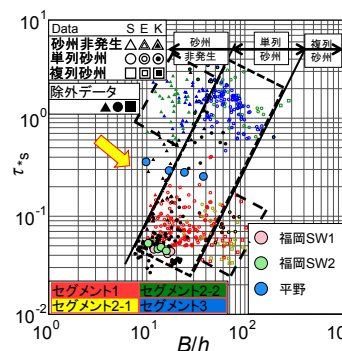


図-3 安定河道と砂州発生領域

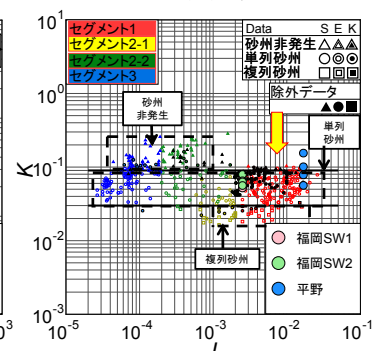


図-4 K と I の関係

列砂州の領域では安定河道となる領域に含まれること、などが確認できる。図-4に、式(2)の K 値を河床勾配 I の関係で整理したものを示す。図中の枠内が砂州領域別の安定河道領域である。これより、 K 値は時間の経過とともに小さくなり、単列砂州の安定河道の平均値程度に近づくことが確認できる。

上記の検討から、福岡・山坂⁶⁾のデータはいずれも安定河道領域に含まれること、平野⁷⁾のデータについては、初期段階は安定河道領域には含まれておらず、時間の経過とともに安定河道領域に含まれることがわかった。河道の変動特性は、河道が安定河道条件となる場合とそうでない場合とで変化することが予想される。図-5は、実測データと式(3)、(4)で表される安定河道の無次元平均水深 h/d_R 、無次元川幅 B/d_R との比較を行ったものである。縦軸は、それぞれ実測値の h/d_R 、 B/d_R と式(3)、(4)より求まる h/d_R 、 B/d_R の比とした。当然ながら、1に近づけば実測値と安定河道の式が一致することとなる。これより、安定河道領域に含まれている福岡・山坂⁶⁾のデータでは、無次元水深については減少、無次元川幅は増大する傾向にあるものの、時間の経過とともに概ね1となること、一方で平野⁷⁾のデータについては、安定河道領域には含まれていない初期段階と境界に近い領域では、変動幅が大きいものの、安定河道領域に含まれる場合には概ね1となること、などが確認できる。ただし、通水直後の0秒のデータは、いずれも1に近い値となるが、これは流水開始直後で、流水の影響を受けてないため、実験の初期条件が安定河道の条件に近かったためと考えられる。これらから、安定河道にない領域では河道横断面形状の変動幅が大きい、安定河道領域では当然ながらその変動幅は小さくなることが確認された。

実務では、改変後の河道の応答を検討する上で、図-6に示すような山本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。山本らは、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。同図に、福岡・山坂⁶⁾、平野⁷⁾の拡幅過程の実験データをプロットすると、図中の赤線の関係から外れることが確認できる。図-7は、式(6)の図-6の山本の経験則⁸⁾に対応する関係に、福岡・山坂⁶⁾、平野⁷⁾の拡幅過程の実験データをプロットしたものである。これより、(1)いずれのデータも同関係を満たしていること、(2)時間の経過とともに、秋山の関係式に漸近すること、(3)福岡・山坂⁶⁾のデータに比べ、安定河道条件を満たしていない平野⁷⁾の実験データのばらつきが大きいこと、などが確認できる。このことは、河道の応答を検討する上で、安定河道の発生領域と秋山の関係式は有用な基準になると考えられる。ただし、今回の実験データには限りがあるので、さらなる検討が必要である。

4. おわりに

本研究は、川幅が拡幅過程にある河道に対して、安定河道の横断面形状との比較から、その変動特性について検討した。その結果、(1)川幅が拡幅過程にある河道には、時間の経過とともに安定河道形状に漸近すること、(2)その条件と形状は安定河道の式で予測可能であること、(3)改変後の河道の応答を検討する上で、図-3の安定河道の発生領域と図-7の秋山の関係は有用であること、などを示した。

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。

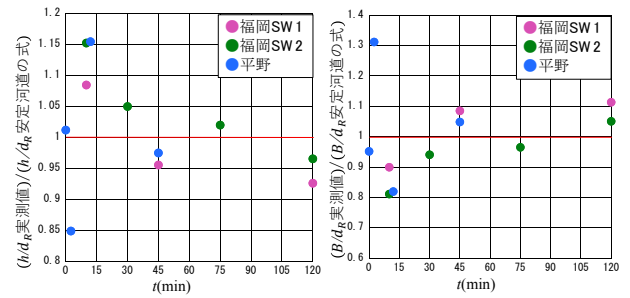


図-5 h/d_R と B/d_R の実験値との比較

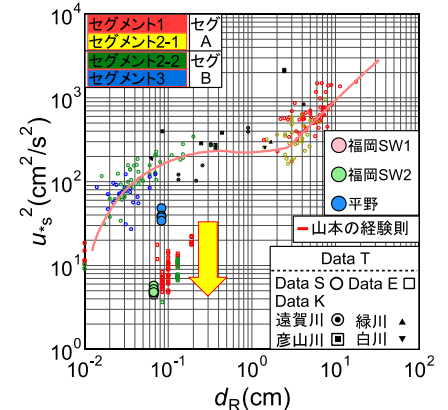


図-6 山本の摩擦速度の二乗 u_*^2 と代表粒径 d_R との関係

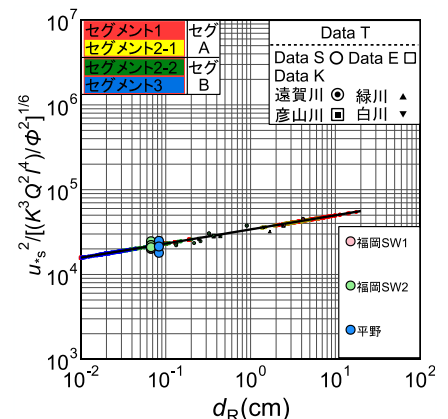


図-7 秋山の関係