

安定した砂礫床河川の横断形状と無次元掃流力の予測

九州工業大学工学部 学生会員 ○ 富田 泰貴 九州工業大学大学院 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 国土交通省九州地方整備局 非会員 野口 聡介

1. はじめに

本研究は、秋山ら^{1),2),3)}が示した“ レジーム則を満たす条件 ”が安定河道の縦横断特性を規定する条件となっていることを明らかにするとともに、経年的に安定した状態にあると判断された国内外の自然安定河道のデータ(以下「Data S」という)に基づき同条件の未定係数を定めた上で、同条件を用いた安定河道の横断形状と τ_{*s} に関する半理論式が、九州3河川を含む国内外の実河川のみならず、室内実験で得られた安定水路の実測値(以下「Data E」という)までも良好に予測できることを実証したものである。

2. セグメントグループ

図-1~4は、河床勾配 I に対する河川の縦横断特性の依存性をData Sに基づき調べたものである。これより、 B/h を除くいずれの特性量もセグメント1と2-1(セグメントグループA)、セグメント2-2と3(セグメントグループB)の大きく2グループに分かれることが確認できる。これは、各セグメントでの土砂流送形態が異なるためである。

3. “ レジーム則を満たす条件 ” と K および τ_{*s} の検討

(1) レジーム則を満たす条件の検討

セググループに関する知見を踏まえ、式(1)および式(1)を書き直した式(2)の“ レジーム則を満たす条件 ”について、同条件に基づかない安定河道の式^{1),2),3)}(以下「式」という)とData Sを用いて検討する。

式(1)、式(2)に含まれる α は I/s に依存するパラメータと考えられることから、式(3)で表せると仮定し、さらに式とData Sを用いると、各グループに対して $\alpha=K(I/s)^{-1/3}$ なる関係が得られ、図-5からこの関係の妥当性が確認される³⁾。ここに、 K はセグメントグループ単位で定められる係数である。

式(1)は $\alpha=K(I/s)^{-1/3}$ と式の $h/d_R=\tau_{*s} \cdot (s/I)$ より、式(4)のように表され、“ レジーム則を満たす条件 ”が $\tau_{*s} \sim B/h$ の関係を規定する条件、つまり砂州の発生領域を規定する関係と同様になっていることがわかる。図-6は、黒木・岸の砂州の領域区分⁴⁾を踏まえて、砂州の発生形態の観点から、式(4)について調べたものである。これから、Data Sがセグメントグループで大きく分かれ、式(4)の関係に従って、単列砂州、その右側に複列砂州、左側に砂州非発生領域のように分布していることが確認でき、安定河道の $\tau_{*s} \sim B/h$ の関係が縦断特性であるセグメントグループと関係していることがわかる。

(2) K および τ_{*s} の評価

図-7は式(4)中の K と I の関係を調べたものである。これよりData Sが砂州の発生形態別に明確に区分されることがわかる。また、 K は I に対する傾向的な依存性は認められないものの、グループ単位では明確に分かれることが確認できる。これは、式(2)と $\alpha=K(I/s)^{-1/3}$ からわかるように、 K が縦断特性と縦横断特性を関係付けるパラ

表-1 式まとめ

$\alpha = (h/d_R) (B/d_R)^{-2/3}$ (1), $\alpha = (h/d_R)^{1/3} (h/B)^{2/3}$ (2)
$\alpha = K \cdot (I/s)^n$ (3), $\tau_{*s} = (K^{3/2} \cdot (B/h))^2$ (4)
$\tau_{*s} = K^{1/2} \cdot [(I/s)^{5/2} \cdot (\phi^{-1} \cdot Q/(gId_R^5)^{1/2})]^{1/3}$ (5)
$h/d_R = K^{1/2} (I/s)^{-1/6} \cdot (\phi^{-1} Q/(gId_R^5)^{1/2})^{1/3}$ (6)
$B/d_R = K^{-3/4} (I/s)^{1/4} \cdot (\phi^{-1} Q/(gId_R^5)^{1/2})^{1/2}$ (7)

h : 平均水深(=A/B), A: 河積, B: 川幅, d_R : 河床材料の代表粒径, Q: 河道形成流量, I: 河床勾配, s: 粒子の水中比重, g: 重力加速度, ϕ : 流速係数, τ_{*s} : 動平衡状態にある無次元掃流力(= $u_{*s}/(sgd_R)$), K: セググループ毎に定められる係数

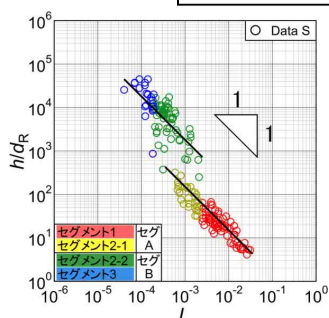


図-1 $h/d_R \sim I$ の関係

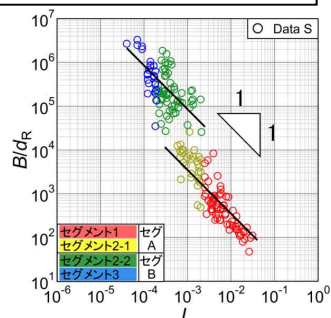


図-2 $B/d_R \sim I$ の関係

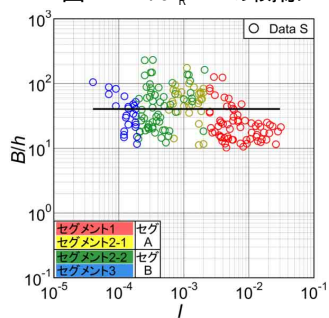


図-3 $B/h \sim I$ の関係

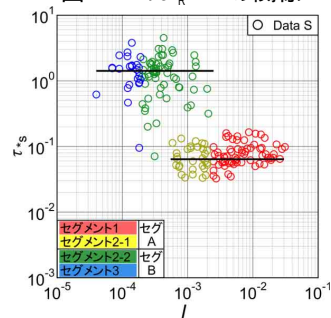


図-4 $\tau_{*s} \sim I$ の関係

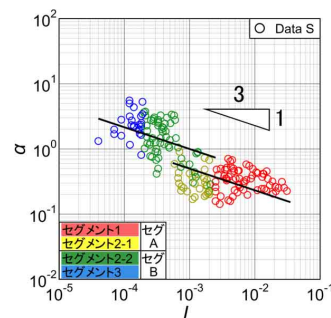


図-5 $\alpha \sim I$ の関係

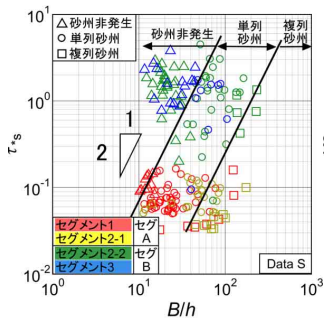


図-6 $\tau_{*s} \sim B/h$ の関係

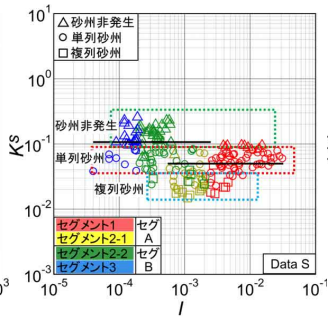


図-7 $K^S \sim I$ の関係

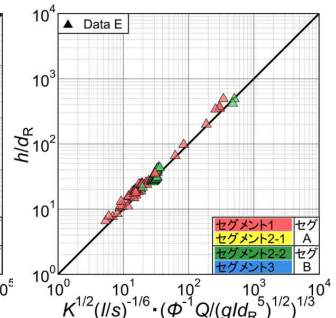
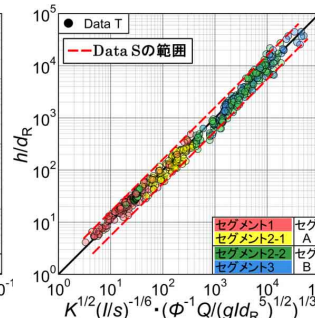


図-8 式 の h/d_R の予測結果(左: Data T, 右: Data E)

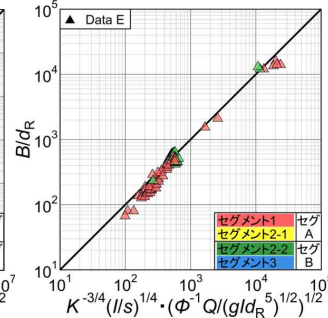
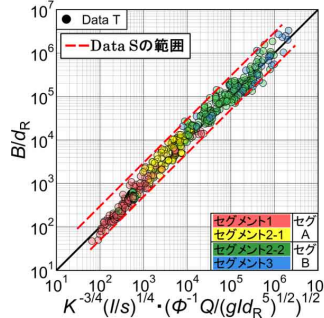


図-9 式 の B/d_R の予測結果(左: Data T, 右: Data E)

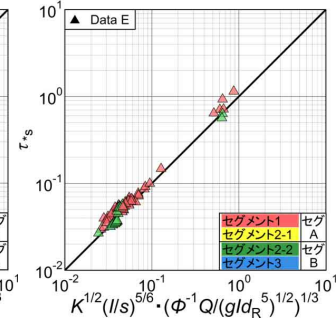
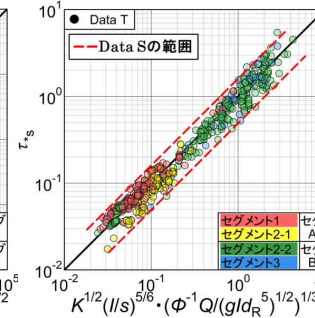


図-10 式 の τ_{*s} の予測結果(左: Data T, 右: Data E)

メータとなっていることによる。図中の黒の実線は、Data S より得られた K 値(K^S)の各グループの平均値(K^S の平均値)を示したもので、グループ B で約 0.1, A で約 0.05 である。また、Data T(九州 3 河川を含む国内外の実河川資料と室内実験資料を合わせたデータ)より得られた K^T 値と砂州の発生領域の関係も K^S とほぼ同様となっており、両 Data の K の平均値と分散値にも違いはない³⁾。なお、 τ_{*s} は $K = \tau_{*s}^{1/3} \cdot (B/h)^{-2/3}$ と式 (5) の $B/h = (\tau_{*s} \cdot (s/I))^{-5/2} \cdot (\Phi^{-1} \cdot Q/(gId_R^{5/2}))$ より、式(5)のように水理量を含む $[(I/s)^{5/2} \cdot (\Phi^{-1} \cdot Q/(gId_R^{5/2}))]^{1/3}$ なる無次元量で表される。また、式に式(5)を適用すれば、 K を係数とする安定河道の式 (以下「式」という)が、式(6)、式(7)のように得られる。

4. 安定河道の式の検証と考察

図-8~図-10 は、式 (5) に K^S の平均値を用いて、横断形状(h/d_R , B/d_R)および τ_{*s} の予測値と実測値を比較したものである。これから確認できるように、式 (5) は各セグメントの土砂輸送形態にかかわらず、全セグメントにわたって Data T と E の横断形状と τ_{*s} を良好に予測できる。ここで、図中の赤の破線は Data S の散らばりの範囲を示したもので、各特性量がこの範囲内に収まっていれば安定河道と判断できる目安である。Data T に関する以上の結果は、低水護岸で水路幅が拘束された九州 3 河川のような河道であっても、河床勾配と河道の断面形が経年的に安定した箇所では、安定河道あるいはそれに近い状態になっていることを示唆している。また Data E に関する以上の結果は、一定流量・土砂供給量の条件下で形成された室内実験より得られた安定河道と、出水や供給土砂等の変動履歴を受けて形成された自然安定河道の横断形状の特性に大きな違いはないと考えられる一方で、図-8~図-10 からわかるように τ_{*s} と d_R との関係や縦断特性(セグメント)と横断特性の关系到に違いが認められるなど、両者は必ずしも同じではないことが示唆されている。

5. まとめ

本研究では、i) “ レジーム則を満たす条件 ” が式(4)のように、安定河道の τ_{*s} と B/h との関係を規定する条件となっていることを明らかにした上で、式(5)のように τ_{*s} と K との関係を定め、Data S に基づき、 K^S の平均値を定めた。ii) そのようにして定められた K^S の平均値を用いた安定河道の式 (5) が、国内外の実河川のみならず、室内実験で得られた安定した砂礫河床水路の横断形状と動的平衡状態の無次元掃流力 τ_{*s} を全セグメントにわたって良好に予測できることを実証した。

参考文献: 1) 秋山ら: 砂礫河川の平均スケールと動的平衡条件, 土木学会論文集B1(水工学), 2014. 2) 秋山ら: 安定した砂礫河川低水路の無次元掃流力について, 土木学会論文集B1(水工学), 2015. 3) 秋山ら: 自然安定河道の特性に基づく砂礫河川の横断形状と無次元掃流力の予測, 土木学会論文集B1(水工学), 2016(掲載予定). 4) 黒木・岸: 中規模河床形態の領域区分に関する理論的研究, 土木学会論文集, 1984.