

安定した砂礫河川低水路の平均スケールと無次元掃流力について

九州工業大学工学部 学生会員 池田 隼人 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 九州工業大学大学院 学生会員 和田 浩輔
 国土交通省九州地方整備局 非会員 伊藤 嘉徳 国土交通省九州地方整備局 非会員 野口 聡介
 国土交通省九州地方整備局 非会員 安武 環 国土交通省九州地方整備局 非会員 永谷 恵一

1. はじめに

本研究は、山本がまとめた国内の河川に関する資料(以下「山本の資料」という)¹⁾、Parker がまとめた海外の河川の資料(以下「海外河川の資料」という)²⁾、および九州の3つの一級河川(遠賀川、緑川、白川)の資料(以下「九州3河川の資料」という)の3資料に基づき、経年的に安定した低水路の平均スケールと無次元掃流力の評価を行うとともに、得られた無次元掃流力の関係を2012年7月出水前後の遠賀川河道に適用し、検討を加えたものである。

2. 安定した低水路の平均スケールと無次元掃流力 τ_{*s}

河岸部を無視した低水路に等流理論($Q=AU$, $\tau = \rho ghI$, 抵抗則)を適用すると、式(1)が得られる。式(1)に動的平衡条件を付加すれば、 $\tau_{*s} = u_{*s}^2 / (sgd_R)$ と $u_{*s} = (ghI)^{1/2}$ より h/d_R の関係が式(2)のように得られ、式(1)と式(2)より B/d_R の関係が式(3)のように求められる。以下では、このようにして得られた式(2)と式(3)を“安定河道の式”という。秋山ら³⁾が得た式(4)のレジーム則を満たす条件と式(1)より、低水路の平均スケールに関する関係式が式(5)と式(6)のように得られる。以下では、式(5)と式(6)を“安定河道の式”という。安定河道の式とより、安定した低水路の無次元掃流力 τ_{*s} の関係が式(7)のように求められる。

表-1 式まとめ

$(B/d_R)(h/d_R)^{3/2} = \phi^{-1} \cdot (Q/\sqrt{gld_R^5})$ (1)
安定河道の式
$h/d_R = \tau_{*s} \cdot (s/I)$ (2)
$B/d_R = (\tau_{*s} \cdot (s/I))^{-3/2} \cdot \phi^{-1} \cdot (Q/\sqrt{gld_R^5})$ (3)
$\alpha = (h/d_R)(B/d_R)^{-2/3}$ (4)
安定河道の式
$h/d_R = \alpha^{1/2} \cdot (\phi^{-1} Q/\sqrt{gld_R^5})^{1/3}$ (5)
$B/d_R = \alpha^{-3/4} \cdot (\phi^{-1} Q/\sqrt{gld_R^5})^{1/2}$ (6)
$\tau_{*s} = \alpha^{1/2} \cdot (s/I)^{-1} \cdot (\phi^{-1} Q/\sqrt{gld_R^5})^{1/3}$ (7)
$\alpha = KI^{-1/2}$ (8)
$\tau_{*s} = C\alpha^{1/2} I \cdot (Q/\sqrt{gld_R^5})^{1/3}$ (9)

ここに、 B :川幅、 C :河床波の状態で異なる係数
 I :河床勾配、 K :セグメントに依存する係数
 Q :低水路満杯流量、 U :断面平均流速、 d_R :河床材料の代表粒径、 g :重力加速度、 h :平均水深、 α :無次元パラメータ、 ϕ :流速係数、 τ_{*s} :無次元掃流力

3. 考察

(1) レジーム則を満たす条件と河床勾配 I の関係

図-1は α と I の関係について調べたものである。同図からわかるように、山本の資料のセグメント1のデータのうち、破線で囲った8データは他のデータと傾向が大きく異なっている。これら8データは B/h が数百の複列砂州~うろこ状砂州の領域のデータとなっており、またそれらの無次元掃流力 τ_{*s} は無次元限界掃流力と同じかそれに極めて近い値となっている。これより、平均年最大流量が必ずしも河道形成流量とはなっていない可能性が推察されることから、これらの傾向の異なる8データを除いて α と I の関係を定めれば、国内外の河川を問わず、式(8)で表すことができる⁴⁾。

式(8)の K 値は次の3つの評価法を用いて検討した。各資料と各河川を区別し、各セグメントの平均値を用いた“評価法”、各資料および各河川を区別し、各セグメントグループ(図-2の破線で示すセグメント1と2-1のグループとセグメント2-2と3のグループ)の平均値を用いた“評価法”、各資料および各河川を区別せず、各セグメントグループの平均値を用いた“評価法”。なお紙面の都合から評価法の結果は割愛した。

(2) 河道の平均スケールの検証

図-3は安定河道の式から得られた河道の平均スケール(h/d_R , B/d_R)の予測値を検証したものである。予測値は全体的な傾向を良好に予測できているものの、ややデータの散らばりが大きい。一方、図-4は安定河道の式と評価

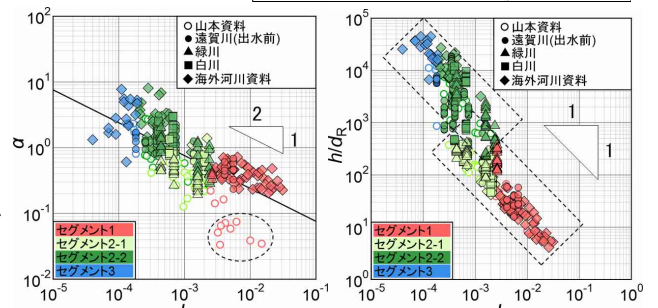


図-1 α と I の関係

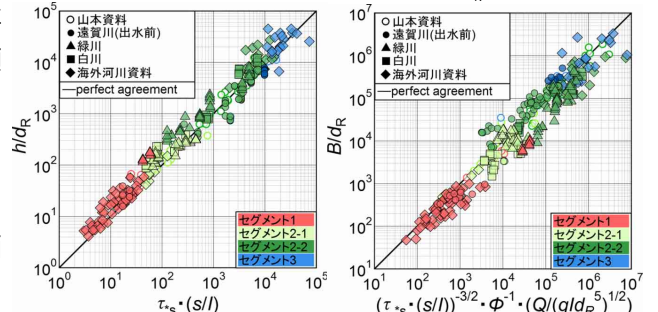


図-2 h/d_R と I の関係

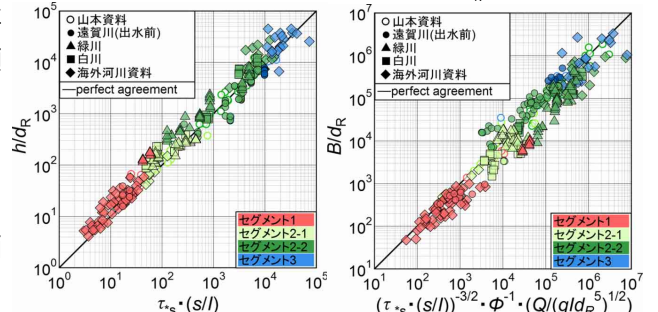


図-3 安定河道の式を用いた予測値の検証

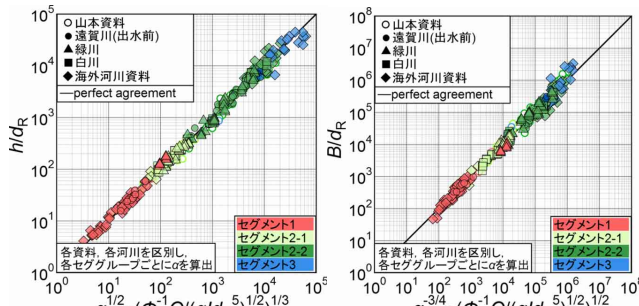


図-4 安定河道の式を用いた予測値の検証

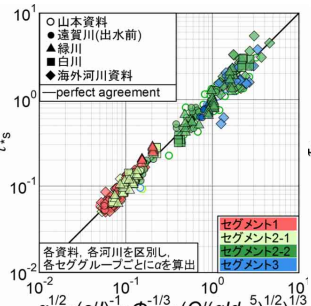


図-5 τ_{*s} の予測式の検証

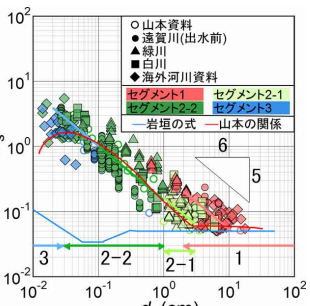


図-6 $\tau_{*s} \sim d_R$ の関係

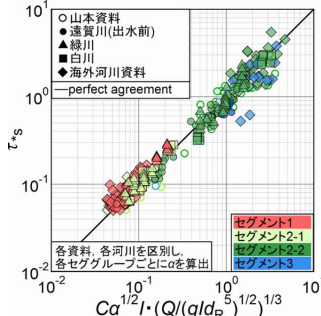


図-7 τ_{*s} の実用式の検証

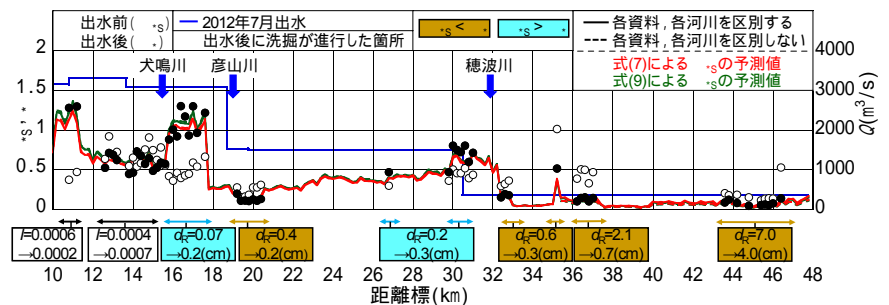


図-8 遠賀川における出水前後の τ_{*s} の変化

法 の K 値を用いて得られた予測値を検証したものであり、安定河道の式 の予測結果より散らばりが小さくなっていることが確認できる。

(3) 安定した低水路の無次元掃流力 τ_{*s} の予測式と実用式

図-5 は式(7)と評価法 の K 値を用いて得られた τ_{*s} の予測値を検証したものである。図-6 の山本が得た経験則⁵⁾と比較すると、データの散らばりが大幅に減少していることが確認できる。

一般に ϕ は平均水深 h がわかっている場合は簡単に求めることができるが、 h が不明な場合はトライアンドエラーより h を求め、 ϕ を推定する必要がある。この理由から、式(7)が河道形成流量 Q で表されていることを踏まえて、河床波せん断抵抗を考慮した岸・黒木の抵抗則⁶⁾を用いて式(7)を書き換えると、砂堆～平坦河床の範囲において $\pm 5\%$ 程度の誤差で式(7)は式(9)のように近似できる。ただし、遷移 にはこの精度で近似できない。ここで、係数 C は河床波の状態で異なり、岸・黒木の抵抗則の係数と $s=1.65$ を用いれば、砂堆 では 0.45 、砂堆 では 0.29 、平坦では 0.32 程度となる。図-7 は、式(9)において全資料を用いて推定した $C=0.28$ および式(8)に評価法 の K 値を用いて得られた τ_{*s} の予測値を検証したものである。これより、式(9)は式(7)より若干予測精度が低下するものの、図-5 で見たものと大きな違いはないことがわかる。

4. 遠賀川における出水前後の無次元掃流力 τ_{*s}

図-8 は 2002 年と 2012 年に実施された遠賀川における縦横断測量と河床材料調査に基づき、出水前後の τ_{*s} について調べたものである。これより、式(7)、式(9)による予測値の違いはわずかであり、両式は河道縦断方向の τ_{*s} の変化を良好に予測していることが確認できる。出水前後での τ_{*s} の変化については次のようなことが確認できる。35km、37km 地点では、出水による局所洗掘(図中の)の進行により、 d_R が小さくなり、 τ_{*s} が τ_{*s} より大きくなっている、彦山川合流点下流の 15.8~17.6km にかけては、2012 年 7 月出水が彦山川流域を中心とした降雨であったために、出水後の d_R が 3 倍程度大きくなり、出水後の τ_{*s} が小さくなっている。

5. まとめ

本研究では、経年的に安定した低水路の平均スケールと無次元掃流力 τ_{*s} の定量的な評価を行い、 τ_{*s} が式(7)あるいは式(9)で与えられること、遠賀川を対象とした検討により、 τ_{*s} を用いて局所洗掘箇所など河道管理上注意を要する箇所を特定できることを示した。

参考文献: 1) 山本: 河道特性論, 土木研究所資料, 第2662号, 1988. 2) Parker, G.: 1D SEDIMENT TRANSPORT MORPHO-DYNAMICS with applications to RIVERS AND TURBIDITY CURRENTS, http://hydrolab.illinois.edu/people/parkerg/morphodynamics_e-book.htm 3) 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. 4) 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(掲載予定). 5) 山本: 沖積河川 -構造と動態-, 技法堂出版, 2010. Vol.70, No.4, I_1051-I_1056, 2014. 6) 岸ら: 移動床流における河床形状と流体抵抗(), 北海道大学工学部研究報告, 第67号, pp.1-23, 1973.