

地質の違いを考慮した山地溪流における河道幅 の推定方法に関する研究

PREDICTION OF CHANNEL WIDTH USING BOTH THE BASIN AREA AND
RIVER INCLINE WITH CONSIDERATION OF GEOLOGY TYPE

原田 紹臣¹・中谷 加奈²・里深 好文³・水山 高久⁴

Norio HARADA, Kana NAKATANI, Yoshifumi SATOFUKA and Takahisa MIZUYAMA

¹ 京都大学大学院農学研究科 (〒606-8502 京都市左京区北白川追分町)

E-mail: harada3@kais.kyoto-u.ac.jp

² 京都大学大学院農学研究科 (〒606-8502 京都市左京区北白川追分町)

E-mail: kana2151@kais.kyoto-u.ac.jp

³ 立命館大学工学部 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

E-mail: satofuka@se.ritsume.ac.jp

⁴ 京都大学大学院農学研究科 (〒606-8502 京都市左京区北白川追分町)

E-mail: mizuyama@kais.kyoto-u.ac.jp

Key Words: channel width, deposit, regression analysis, geology type

1. はじめに

近年, 山地河川において土砂動態の予測により適切に土砂を管理することを目的に, 土砂流出も併せた予測システムが提案されている. 例えば, ダム堆砂を対象に浮遊砂の非平衡性を考慮した小澤らの研究¹⁾や種々の土砂動態を対象に粒径分布を考慮した高橋らの研究²⁾がある. これらの予測モデルは, 精度良く土砂流出を予測することを目的に, 河道幅が比較的狭い支流も含めて詳細にモデル化されている.

谷地形を呈する山地河川において, 河道幅(河床堆積物の堆積幅)が狭い支流も含めてモデル化する場合, 上空から計測された地形情報(例えば, 航空測量写真)を用いた河道幅の設定が有効である. しかしながら, 植生等により上空からの判別が困難な山地河川における河道幅に関しては, 撮影画像を基にしたデータをそのまま利用できない場合がある. 一方, 河床変動が活発で急峻な谷地形を呈する山地河川においては, 一般的に河床堆積物厚の変化に応じて河道幅が大きく変化するため, 河床堆積物の堆積過程に影響を与える因子を

考慮した河床幅の推定が望まれる.

河道幅に関して, 国内外(カナダ等)の河川を対象に推定される支配流量に対応した河道幅に関する浅野・福岡³⁾の研究がある. 浅野・福岡は, 流量や河床材料等の物理量を用いて, 環境との調和を考慮した新たな河道断面の決定手法を提案している. ただし, 浅野・福岡によって提案されている式は沖積河川等が対象であるとともに, 一般的に土砂生産が活発な山地河川における河道幅等の地形に対して影響を与えると考えられる地質の違いに関して, 直接的に考慮されていない.

そこで, 本研究では山地河川における河道幅の違いに影響を与える因子に関して既往の調査結果⁴⁾を対象に統計解析手法を用いて分析し, 河道幅を推定する際に必要な因子を抽出した. そして, 分析結果や既往の経験式より得られた山地河川の河道幅に影響を与える因子を用いて, 土砂動態の予測モデル構築に必要な山地河川の河道幅の推定式を提案した. その際, 沖積河川において一般的に用いられているレジーム則を対象に, 地質の違いを考慮した新たな山地河川特有のレジーム則を明らかにした.

2. 山地河川における河道幅の推定方法に関する提案

山地河川における河道幅に影響を与える因子について、既往の調査結果を用いた分析結果により抽出する。次に、山地河川における流域面積と河道幅との関係等について、分析結果、既往の経験式及び現地にて調査した河道幅の結果等を用いて提案する。

(1) 山地河川の河道幅に影響を与える因子の推定

山地河川における河道幅に影響を与える因子について、要領⁵⁾に準拠して調査された既往の土石流危険溪流カルテ(有効標本数:838)⁴⁾を対象に、一般的に因子分析に用いられている多変量解析(数量化理論Ⅲ類)手法(例えば、6))を用いて分析した解析結果を図-1に示す。分析に際しては、カルテに記載されている平均溪床勾配、河床堆積物の堆積深、基準地点より上流域における流域面積、流路延長及び流域の優勢な地質を用いた。図-1に示される縦軸(1軸:流域面積のレンジが顕著)の変化と河道幅の違いとにおいて相関が確認されることより、流域面積の違いが河道幅に影響を与えていることが推測される。一方、横軸(2軸:堆積深のレンジが顕著)の変化と流域面積の違いとの一部において相関が確認されることより、流域面積の違いが堆積深に影響を与えていることが推測される。なお、横軸(2軸:堆積深のレンジが大)の変化と地質の違い(例えば、マイナス側に火成岩とプラス側に堆積岩)とにおいて相関が確認されることは興味深い点である。

(2) レジーム則を用いた流域面積と河道幅との関係

前述の統計解析結果より、流域面積の違いと山地河川の河道幅の違いとに関係性が存在することが確認された。以降に、この関係性に関して既往研究等を参考

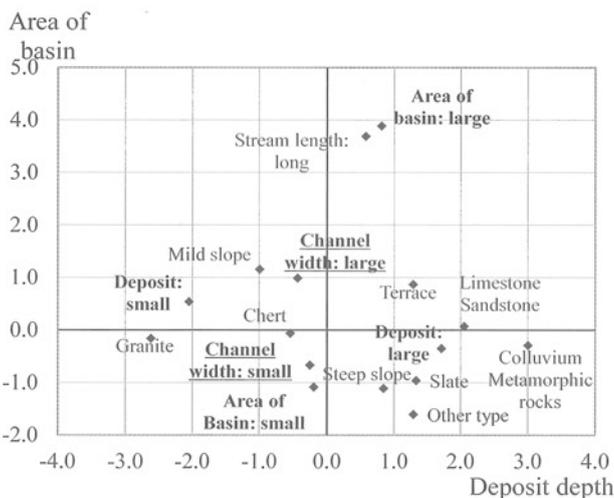


図-1 数量化理論Ⅲ類を用いた河道幅に関する因子分析

に検討する。

河道幅に関して、一般的なレジーム則と合理式を用いると、

$$B_0 \approx \alpha Q^{1/2} \quad (1)$$

$$B_0 \approx (\alpha k^{1/2} r_e^{1/2}) A^{1/2} = \beta A^{1/2} \quad (2)$$

と表される。ここに、 B_0 は河道幅、 Q は流量、 r_e は有効降雨強度、 A は対象地点より上流域の流域面積及び α, β, k は係数である。そこで、福井県大野郡和泉村下山に位置する九頭竜川流域の荒島谷(流域面積 A : 7.1km^2)を対象に要領⁴⁾を参考にして筆者らが調査した結果(河道幅、河道の縦断測量、流域面積等)を用いて、式(2)の適用性について検証する。なお、当該流域の優勢な地質は図-2に示されるとおり、第三紀の安山岩(An:両揮石安山岩)と河床堆積物(Hg:砂岩及び頁岩の互層等)である。また、河床の状況及び河道幅の調査状況について、図-3に示す。なお、調査結果を対象に式(2)を用いて整理した結果を、図-4に示す。

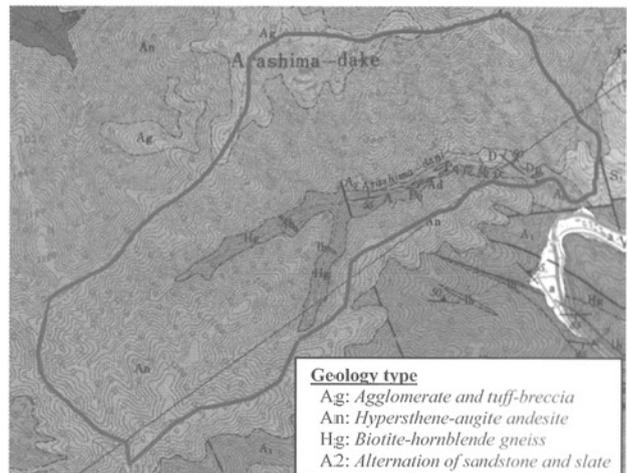


図-2 当該流域の地質図⁷⁾



図-3 対象とする山地河川の状況及び調査状況

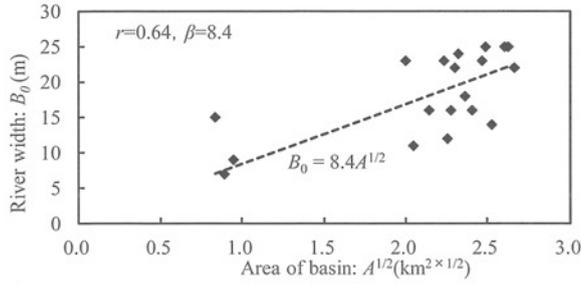


図-4 流域面積と河道幅との関係

図-4 に示されるとおり、本予測式の相関係数 r は 0.64 (0.7 以下) であった。これより、流域面積のみを用いた河道幅の予測式は、更なる改善が必要であることがわかった。

(3) 提案する河道幅の推定方法

既往研究⁸⁾によると、河床材料が存在する中規模河道において、河床形態を支配する主な無次元量は、

$$\tau_*, h/d, \text{ and } B_0/d \quad (3)$$

である。ここに、 τ_* は無次元限界掃流力、 h は水深及び d は河床材料の代表粒径(ここでは、平均粒径)であり、

$$h/d = R(I) \cdot (B_0/d)^{2/3} \quad (4)$$

の関係が示されている。ここに、 $R(I)$ は勾配 I に関する係数である。ただし、調査結果より河床勾配 I が 1/20 以下の区間においては、

$$R(I) \doteq 0.45 \quad (I \leq 1/20) \quad (5)$$

であるとされている⁸⁾。

一方、流水の連続式は、

$$Q = v \cdot B_0 \cdot h \quad (6)$$

と表される。ここに、 v は流速であり、さらに、

$$v/v_* = \sqrt{8/f} \quad (7)$$

$$v = \sqrt{8/f} \cdot v_* \quad (8)$$

$$v = \sqrt{8/f} \cdot \sqrt{ghl} \quad (9)$$

と表される。ここに、 v_* は摩擦速度、 g は重力加速度及び f は摩擦損失係数である。

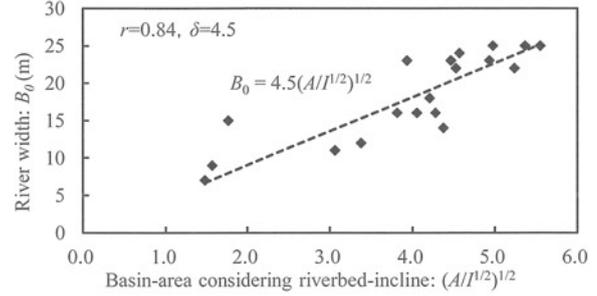


図-5 河床勾配を考慮した流域面積と河道幅との関係

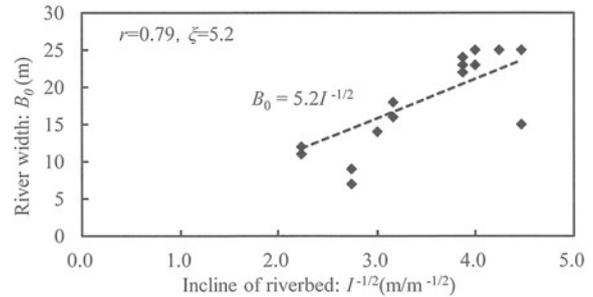


図-6 河床勾配と河道幅との関係

式 (2), (4), (5), (6) 及び (9) を用いて整理すると、

$$B_0 = \frac{R(I)^{-3/4}}{(\sqrt{8/f})^{1/2}} \left(\frac{Q}{\sqrt{gdI}} \right)^{1/2} \quad (10)$$

$$B_0 = \chi \left(\frac{Q}{\sqrt{I}} \right)^{1/2} = \delta \left(\frac{A}{\sqrt{I}} \right)^{1/2} \quad (11)$$

と表される。ここに、 χ 及び δ は係数である。ここで、式 (11) を用いて、同様に荒島谷における調査結果の河道幅を対象に整理した結果を図-5 に示す。図-5 に示されるとおり、河床勾配(対象地点の前後 10m における地表高を用いて算定)を考慮した流域面積と河道幅との関係性における相関係数 r は 0.84 であり、比較的に高い関係性があることが確認された。

参考に、河道幅 B_0 と河床勾配 $I^{-1/2}$ との関係性に関して、実測結果を用いて図-6 に整理する。図-6 に示されるとおり、河道幅と河床勾配との相関係数 r は 0.79 であり、流域面積との関係(図-4)に比べて相関が高いことがわかった。この要因について、以降に考察する。

一般的に、河床変動が活発で急峻な谷地形を呈する河道において、河床堆積物の存在する幅(河道幅)は堆積物の高さに影響を受ける。また、堆積物の高さは河床勾配の違いに影響を受けている。これより、間接的に河道幅と河床勾配との違いに関係性が存在しているものと考えられる。

3. 地質の違いを考慮した山地河川における河道幅に関する予測式の提案

一般的に、地質の違いが河道幅や河床勾配等に代表される地形の形成において影響を与えることが知られている。また、図-1に示される既往調査結果を用いた統計解析結果においても、地質の違いと河床堆積物の厚さとの違いにおいて関係性があることが確認されており、別途、地質の違いを考慮する必要がある。ただし、前述において統計分析に用いた土石流危険渓流カルテ⁵⁾に示される平均河床勾配は、基準地点前後の河床勾配ではなく上流域までの平均渓床勾配であり、対象地点における河床勾配の情報を新たに得る必要がある。

そこで、筆者らが前述までの調査とは別に滋賀県内（大津市、長浜市他の県内一円における任意に抽出した溪流）において詳細調査した結果を対象に式 (11) を用いて分析し、流域の地質毎に整理した結果を図-7から13までにそれぞれ示す。なお、今回採用している河床勾配は、前述と同様に対象基準地点の前後10mにおける地表高差を用いて算定した結果である。また、図-7から13までに示されるそれぞれの地質毎における推定式の予測精度（相関係数： r ）と近似式の傾き（係数： δ ）に関する一覧表について、表-1に示す。表-1に示されるとおり、係数（勾配： δ ）が地質の違いに応じて異なる（ $\delta=11.4\sim 22.4$ ）ことより、地質の違いが山地河川の河道幅に影響を与えることが明らかとなった。

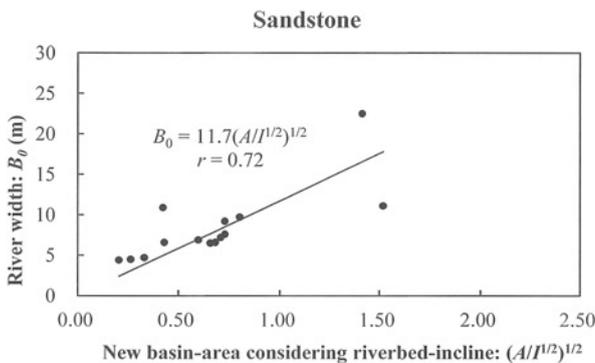


図-7 河道幅と流域面積・河床勾配との関係（砂岩）

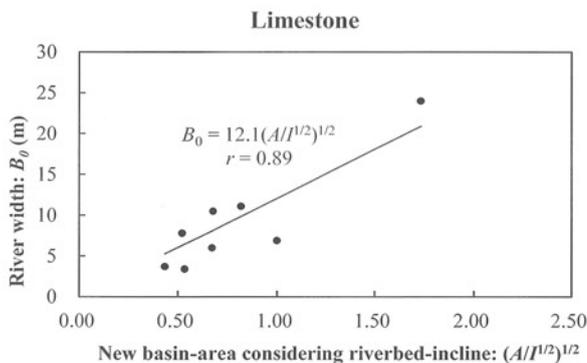


図-8 河道幅と流域面積・河床勾配との関係（石灰岩）

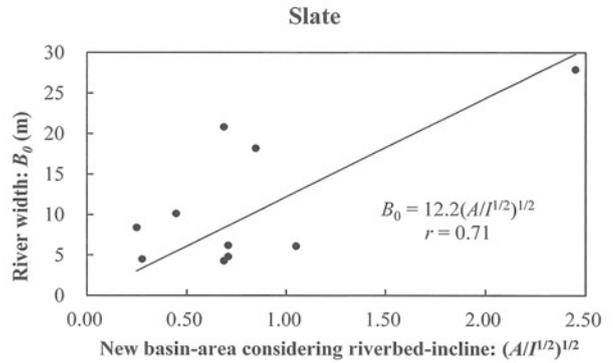


図-9 河道幅と流域面積・河床勾配との関係（粘板岩）

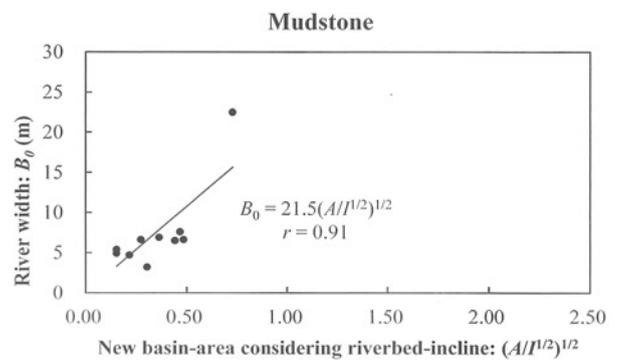


図-10 河道幅と流域面積・河床勾配との関係（泥岩）

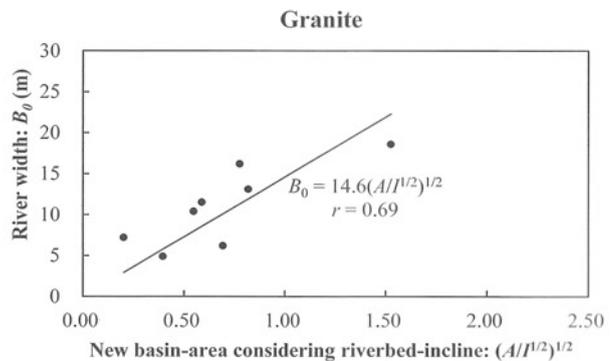


図-11 河道幅と流域面積・河床勾配との関係（花崗岩）

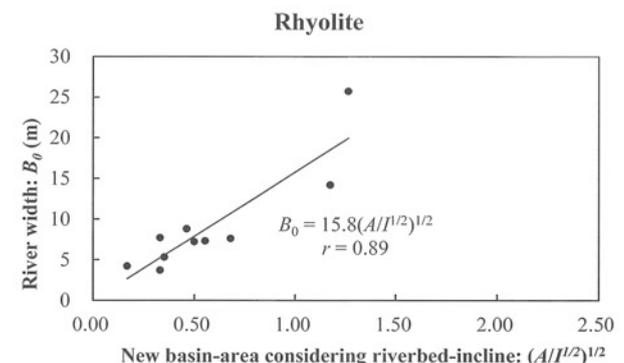


図-12 河道幅と流域面積・河床勾配との関係（流紋岩）

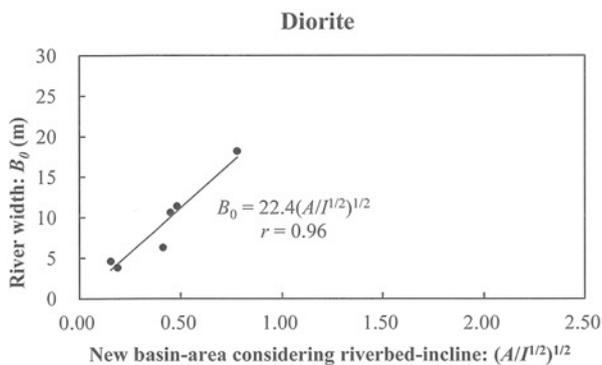


図-13 河道幅と流域面積・河床勾配との関係（閃緑岩）

表-1 地質を考慮した山地河川における河道幅の予測手法における予測精度と係数

Geology		Correlation coefficient: r	Correlation : δ
Sedimentary rock	Sandstone	0.72	11.7
	Limestone	0.89	12.1
	Slate	0.71	12.2
	Mudstone	0.91	21.5
Volcanic rock	Granite	0.69	14.6
	Rhyolite	0.89	15.8
	Diorite	0.96	22.4

図-7 から 13 までに示されるとおり、提案する地質の違いを考慮した推定式に関する平均相関係数 $(\Sigma r)/n$ は 0.82 であり、比較的精度良く再現できていることが確認された。ただし、花崗岩に関しては相関係数 r が 0.7 未満であったため、適用に関しては留意が必要である。ここで、推定式における係数 δ に関して、地質の違いに着眼すると、火山活動に起因して形成された地質における近似式の傾き (δ の平均値: 17.6) が、堆積に起因して形成された地質の傾き (δ の平均値: 14.3) に比べて大きい傾向を示していることがわかる。この要因に関して、現時点においては情報が不足しているため、今後、調査対象地点を増やした更なる検討が必要である。また、調査対象が近畿圏内に限定されているため、対象範囲を拡大して検証していく必要がある。その際、式(2)や式(11)において、降雨の特性を表す有効降雨強度 r_e を一定の係数 (β, δ) として扱っているため、降雨特性の違いが河道幅に与える影響について検証することが望まれる。

4. まとめ

山地河川における河道幅について比較的少ない情報から簡易に推定することを目的に、既往の経験式や現地での調査結果を用いて、地質の違いを考慮した山地溪流における河道幅の推定式について示した。

本研究により得られた成果を、以下に要約する。

- 1) 既往の土石流危険溪流カルテを対象に数量化理論Ⅲ類の手法を用いて分析した結果、流域面積の違いが河道幅に影響を与えていることが確認された。また、地質（例えば、堆積岩と火成岩）の違いと河床勾配の違いとの関係性が確認された。
- 2) 既往の経験式（レジーム則等）と今回実施した溪流調査により得られた結果を用いて、対象地点の上流域における流域面積と河床勾配を用いた山地河川の河道幅に関する推定式を提案した（相関係数：0.84）。
- 3) 更に、別地区において実施した溪流調査結果について提案する推定式を用いて検討し、最終的に沖積河川において一般的に用いられているレジーム則を対象に、地質の違いを考慮した新たな山地河川特有のレジーム則を明らかにした。ただし、地域が限定されているため、今後、調査対象範囲を拡大させて、さらに検証していく必要がある。
- 4) 今後、今回提案した推定式に関して、全国的に調査されている土砂災害防止法に基づく基礎調査における適用について更なる検討が望まれる。

参考文献

- 1) 小澤和也・永谷言・水野直弥・高田康史・石田裕哉・寶馨：分布型降雨土砂流出モデルを用いた流域規模の土砂生産・移動特性に関する研究，河川技術論文集，Vol.17, pp. 59-64, 2011.
- 2) 高橋保・井上素行・中川一・里深好文：山岳流域における土砂流出の予測，水工学論文集，Vol. 44, pp. 717-722, 2000.
- 3) 浅野文典・福岡捷二：沖積河川における安定な川幅・水深—治水と環境との調和を目指した河道断面形状の決め方—，水工学論文集，Vol. 54, pp.1021-1026, 2010.
- 4) 土砂災害警戒区域等電子データ整備業務委託，滋賀県，2011.
- 5) 危険溪流および土石流危険区域調査要領（案），建設省河川局砂防部砂防課，1999
- 6) 平田貴紅子・杉尾鉄：数量化理論Ⅲ類による九州一級河川の性格の類型化，土木学会 年次学術講演会，

Vol.63, pp.7-195-7-196, 2008.

- 7) 地質調査所：荒島岳 S=1:50,000, 1968.
- 8) 村本嘉雄・藤田裕一郎：中規模河床の分類と形成条件，
水理講演会論文集, Vol.22, pp.275-282, 1978.

(2014. 5. 9 受付)