

## 山地河川における波立ちによる緩流域の分布変化の評価手法の開発

筑波大学大学院 学生会員 ○川畑 遼介  
筑波大学大学院 正会員 白川 直樹

### 1. はじめに

山地河川における減水区間では、物理環境が著しく変化し、特に緩流域の増加は環境保護上、問題視されている<sup>1)</sup>。そこで環境流量を設定する必要があるが、そのためには流量と緩流域面積および分布の関係や、緩流域の発生メカニズムを把握することが必要であり、なおかつその調査手法の簡易化が重要な課題となっている。

本研究では、減水区間において水面の波立ち（以下「F」とする）と水深を調査項目とした簡易的な手法を用いて現地観測を行い、同一区間で異なる流量におけるデータを収集した。また、この手法によって得られた流量ごとにおける緩流域の面積及び分布の変化を示し、流量減少による物理環境変化を表す指標としての可能性を述べる。

### 2. 観測概要

#### 2.1 観測河川の概要

観測河川は茨城県北部を流れる久慈川水系の里川である。観測は2014年5月23日から7月4日まで計4回行った。調査地点の流量は観測日によって異なり、それぞれ0.60, 0.30, 0.11, 0.039 (m<sup>3</sup>/s)である。調査区間は250m、勾配は約1/18、流域面積は約12.3km<sup>2</sup>である。また、流量データおよび流域面積から、観測の時期の間に洪水と呼ばれるような出水はなかったと考えられる<sup>2)</sup>。

#### 2.2 観測項目について

本研究では河道内を図1のような長方形グリッドに区切り、各グリッド内で代表するFおよび水深を測定した。グリッドの大きさは、縦断方向2m、横断方向1m

とした。また Newson ら<sup>3)</sup>の文献を参考にして、図2のようにFを4種類に分類した。白波が立つものを「荒波」としてF1、白波は立たないもののしわのような波が立つものを「しわ波」としてF2、波立ちが無く波高が0である流れを「滑空」としてF3、流れが無い場所を「止水」としてF4A または F4B とするが、この「止水」の詳細については後述する。

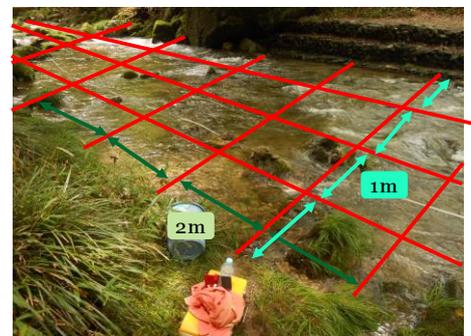


図1 測定用の長方形グリッド

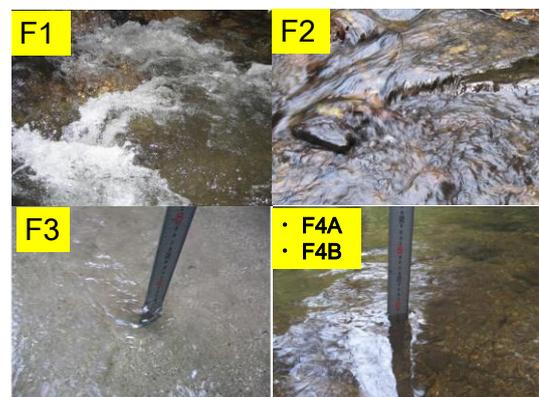


図2 各Fの分類

キーワード 山地河川, 減水区間, 緩流域, 波立ち, 主流域

連絡先 〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1 筑波大学システム情報工学科構造エネルギー専攻  
Email s1420881@u.tsukuba.ac.jp

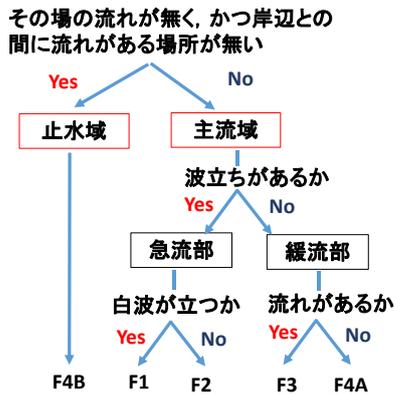


図3 波立ちによる流れの分類方法



図5 対象区間における礫列河床形態

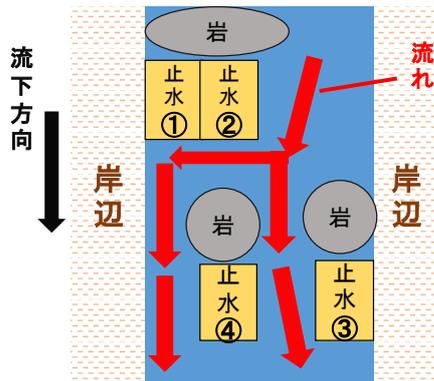


図4 主流域と止水域の模式図

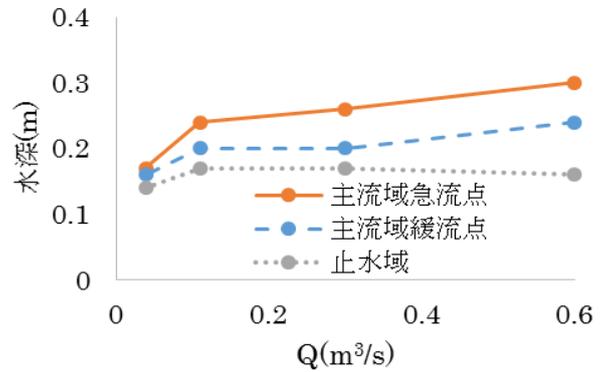


図6 主流域および止水域の水深の中央値と流量

本研究では河道内を主流域と止水域に分類した。図3に波立ちによる流れの分類方法、図4に主流域と止水域の模式図を示す。止水域とは岸辺に隣接している流れの無い場所を指すものとするため、止水①③は止水域である。また、止水②のように岸辺に隣接していても止水域に隣接している「止水」も止水域 F4B とする。一方、止水④は「止水」であるが、岸辺にも止水域にも隣接しておらず、両隣に流れがあるため止水域ではなく主流域内の緩流点 F4A とする。よって、止水①②③は止水域とし、止水④およびその他の流れがある場所は主流域とする。また、主流域のうち F1, F2 のような波立ちがあるグリッドを急流点、F3, F4A のような穏やかなグリッドを緩流点とする。

### 3. 観測結果

#### 3.1 止水域について

一般に山地河川の小規模河床形態は、礫段河床形態（ステップ・プール）または礫列河床形態（トランスバース・リブ）の二種類に分けられるとされており<sup>4)</sup>、本研究では対象区間の河床形態を調べた。目視の結果、

対象区間は図5のように河道を横断するように礫が並んでいる場所が多く見られ、かつ広い緩流域は見当たらなかった。このことから対象区間は、礫列河床形態に近い構造であったと考えられる。

図6は各流量での止水域および主流域の緩流点、急流点における水深の中央値である。この図より、急流点の方が緩流点や止水域よりも水深が深くなっていることが分かる。また、礫段河床形態の場合は広く深い Pool 部を有しているため、緩流点や止水域の方が急流点よりも水深が深いと考えられるが、対象区間ではそのような傾向は見られないことから、礫段河床形態ではないということがデータからも推定される。

図7は、対象区間で頻出する止水域であり、奥側が上流側である。図7の左側にあるような岩の陰において、縦断・横断方向ともに約1~2mの止水域が形成される場合が多いが、その大きさは岩の大きさに依存すると考えられる。したがって、対象区間のような礫列河床形態の河川においては、河道内の岩の粒径を測定することで岸辺の止水域の大きさを算出できると考えられる。



図7 対象区間内で出現頻度の高い止水域の例

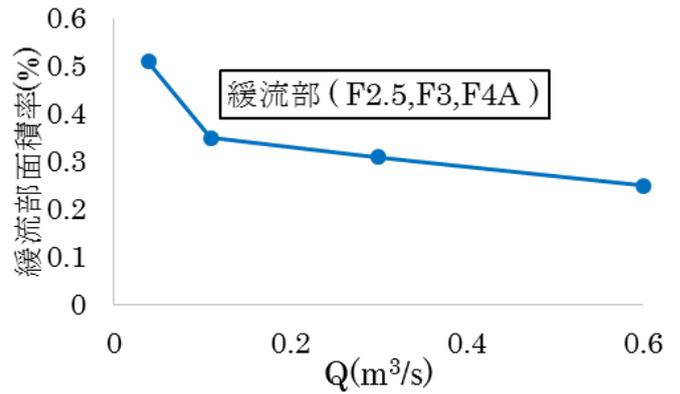


図9 主流域内における各Fでの緩流部面積率

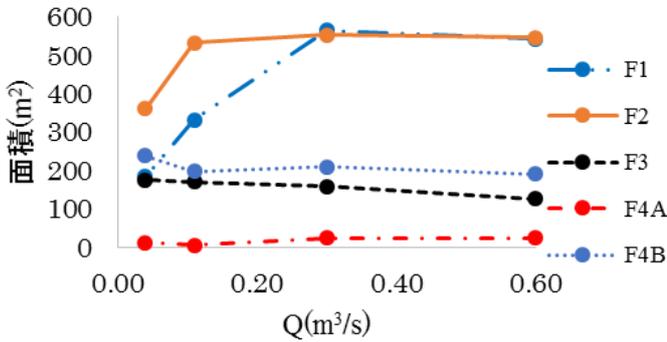


図8 流量ごとの各Fの面積

### 3.2 主流域について

#### 3.2.1 流量変化による各Fの変化

図8に流量ごとの各Fの面積を示す。図8よりどの流量においてもF4Bに比べてF4Aの面積が非常に小さいため、「止水」のほとんどは止水域に含まれることが分かった。また、主流域内の緩流点であるF3、F4Bの面積は流量増加とともにわずかな減少傾向を示しているが、F1、F2ほど明確な変化は示していない。また、そもそも各流量においてF3の面積が小さく、減水区間の調査項目として用いるためには工夫が必要であると考えられる。

#### 3.2.2 低波高流れ「F2.5」の導入

波立ちが起こる主な原因としては、河床の凹凸の影響や上流側からの波の輸送が考えられ、対象区間は水深が浅く急勾配で流速が速く波立ちが起こりやすい。そのため流量減少によって流速が減少すると、波高は全体的に低くなるが、波高が0となる場所は少なく、F3が出現しにくくなっていると考えられる。そこで河道内全体の波高の低下を表現するため、F2の中

でも波高の高いものと低いもので分類した。

F2の中で波高が高いものを「高波流れ」として「新F2」、波高が低いものを「低波流れ」として「F2.5」と分け、Fを5段階の指標とする。また、F2.5、F3、F4Aをまとめて、「緩流部」とする。しかし、データから直接波高を求めることが困難なため、F2の中で波高が低いと思われる場所を周辺の状況から推定し、その部分をF2.5に置換するものとする。

まず、波高が0であるF3の周辺には、波高が低いF2.5があると考えられる。また白波が立つF1の下流側にはF2.5は発生しないと考えられる。

以上のことから、

- ・上流側にF1が隣接していない
- ・F3またはF4が隣接している

この両方の条件を満たすF2はF2.5に置換した。

#### 3.2.3 流量減少による緩流部の変化

流量減少による緩流域の変化を表す指標としては、流量と1対1の関係で対応するものが望ましいと考えられるため、そのようなパラメーターを見つける必要がある。緩流域は止水域や緩流部を指すが、そのうち止水域の面積は河道形状や岩の大きさに依存するため、流量と1対1の関係ではないと考えられる。そのため、止水域ではなく主流域内の緩流部の変化に着目した。

流量減少による主流域内の緩流部の変化を表すため、置換したデータを用いて主流域全体の面積に対する主流域内の緩流部面積の割合（以下「緩流部面積率」とする）を算出した。図9は緩流部面積率を流量ごとにプロットしたものである。流量が減少するにつれてF2.5及びF3が単調増加しており、主流域内において緩流部面積率が上がっているため、流量と緩流部面積率は負の

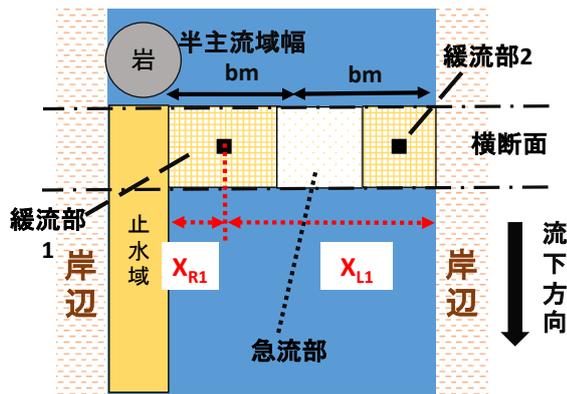


図 10 緩流部突出の模式図

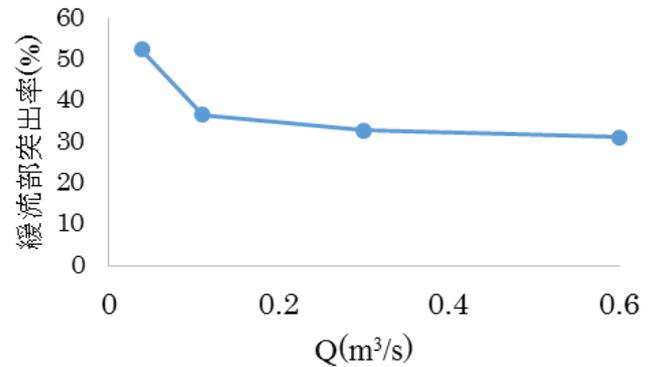


図 11 流量と緩流部突出率

相関があるといえる。

その原因としては、流量減少によって流速が減少して波立ちが起こりにくくなり、かつ波の伝達距離が短くなったためであると考えられる。

次に、流量が減少すると全体の流速が減少するため、緩流部は流量減少にともなって、主流域幅に対する河道中央方向への突出の割合が大きくなると予測した。

図 10 に緩流部突出の模式図を示す。図 10 において、主流域幅の半分を半主流域幅  $B_m$ 、緩流部の重心から主流域内の右岸側までの距離を  $X_{Ri}$ 、緩流部の重心から主流域内の左岸側までの距離を  $X_{Li}$  とする。ここで、横断面内において、基準点を主流域内の左岸側または右岸側にとり、緩流部面積を重みとした場合、岸辺を基準とした緩流部のモーメントが得られる。さらにそのモーメントを  $B_m$  で無次元化した値  $\delta_p$  (以下「緩流部突出率」とする) を考えると、流量が減少するにつれて、緩流部が中央方向に突出すると仮定した。その場合モーメントは流量と負の相関を示すと考えられる。そこで  $A_{pi}$  を断面内の 1 つの緩流部の面積とすると、緩流部突出率  $\delta_p$  は以下の式によって求められる。

$$\sum M_i = \sum [A_{pi} \times \min\{X_{Ri}, X_{Li}\}]$$

$$L_p = \frac{\sum M_i}{\sum A_{pi}}, \quad \delta_p = \frac{\sum L_p}{B_m}$$

さらに全横断面において  $\delta_p$  を平均することで、対象区間全体における緩流部突出率が求められる。図 11 に流量ごとの緩流部突出率を示す。これより、流量と緩流部突出率は負の相関があることが分かった。

#### 4. まとめ

流量による緩流部の変化を調べるため、里川の同一区間において 0.60, 0.30, 0.11, 0.039 (m³/s) の 4 種類の流量条件で現地観測を行った。

本研究では波立ちに着目することで、流量と緩流部面積率および緩流部突出率の関係を調べ、それらが負の相関を持つことを示した。すなわち、流量が減少すると主流域内の緩流部は河道中央方向に突出し、その面積を広げることが分かった。よって、これら 2 つは流量減少による緩流部の変化を 1 対 1 に対応させる指標として利用できると考えられる。また礫段河床形態の緩流部の変化や止水域については今後研究を進めていくものとする。

#### 5. 参考文献

- 1) 瀬と淵の水質及び生物一次生産に関する現地観測, 池田駿介, 戸田祐嗣, 赤松良久, 水工学論文集, 第 43 巻, 1997
- 2) 国土交通省水門水質データベース, <http://www1.river.go.jp/>, (2015/01/15 アクセス)
- 3) Geomorphology, ecology and river channel habitat : mesoscale approaches to basin-scale challenges M.D.Newson and C.L. Newson, Progress in Physical Geography 24, 2, pp195-217, 2000
- 4) 河川上流域の河道地形(<特集>ながれと地形), 長谷川和義, ながれ : 日本流体力学会誌 24(1), pp15-26, 2005