

自然河川の一次元計算における河床勾配の捉え方に関する研究

長岡技術科学大学 ○水谷怜南・楊 宏選・熊倉俊郎・陸 旻皎

1. 背景と目的

川の流れる方向の川底の傾きを河床勾配という。同様に水面勾配、エネルギー勾配（摩擦勾配ともいう）がある。開水路は一次元として扱っても精度の高い水位が求められるために、前出の三つの勾配が良く用いられる。平面二次元や三次元の流れになると縦断方向（川の流れる方向）にこだわらなくなり、これら勾配の概念は次第に薄くなっていく。

教科書は一般的に断面が変わらない開水路を用いてベルヌーイの定理や漸変流の方程式を用いて水面形を計算したり分析したりしているが、自然の川は横断面が不規則的で、河床高が複数存在しており、縦断方向の河床高低下分を縦断距離で除して得られる河床勾配は、簡単に決まらない。

河床勾配は水面計算や水面形分析、掃流力による洗堀などで用いられる。河床高は河床勾配の計算の他に河床変動の実態把握にも必要な値である。平均河床高の扱い方は国土交通省で決められてはいる¹⁾ものの、これは行政の取り決めであり、必ずしも水理学的に最適なものではない。本研究は、国交省の取り決めを含めて、考え得る河床勾配や河床高の扱い方を比較して、その違いを明らかにする。最終目的は実用的かつ合理的な河床勾配・河床高をどう扱うべきか、検討することである。

2. 横断面河床代表高の扱い方

河床勾配を河床高と縦断距離から求める場合、まず横断面を代表する河床高の扱いを決める必要がある。考え得るいくつかの方法を以下に示す。

(1)全断面平均高

これは全河川横断面にわたってその平均値を求めて平均河床高とする方法である。図1の示す横断測量データから簡単に計算できるメリットがある。全横断面積を A 、開口部幅を B 、堤防頂点標高を H とすれば、平均河床高は $H_b = H - A/B$ となる。

(2)最深河床高

これは最も標高の低い河床を用いてその断面の代表河床高 H_b とする方法である。(1)よりも簡単で計

算すら不要である。

(3)水位-径深

これは iRIC の一次元ソルバー CERIID の採用している方法である。横断面の平均河床高という出力指定すれば出力してくれる変数 Z_{ave} があり、マニュアルに記載はないが、ソルバーのデモの中に Z_{ave} は水位-径深であるという説明があった。

(4)水位-平均水深

これは水位以下の河床の平均高である。径深を平均水深に置き換えるだけで、基本的に(3)とほぼ同じである。広幅開水路の場合、平均水深と径深の違いは

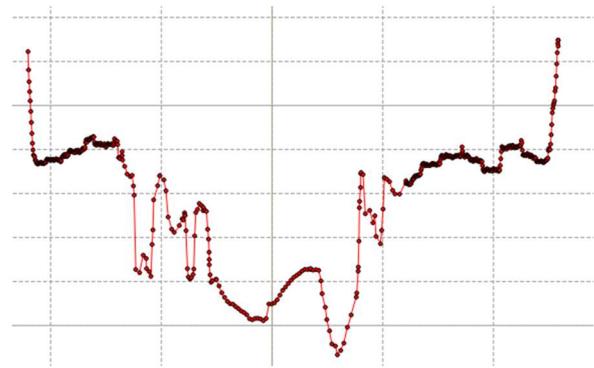


図1 信濃川のある横断測量断面 縦横比 40

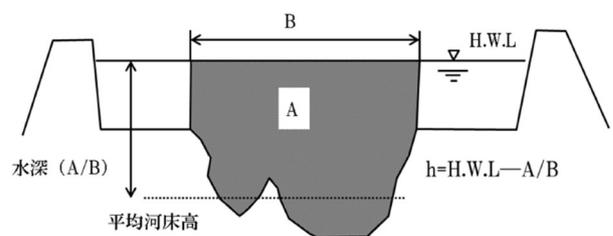
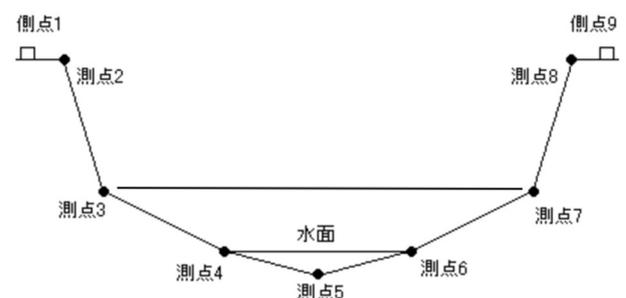


図2 複断面水路の場合の平均河床高¹⁾



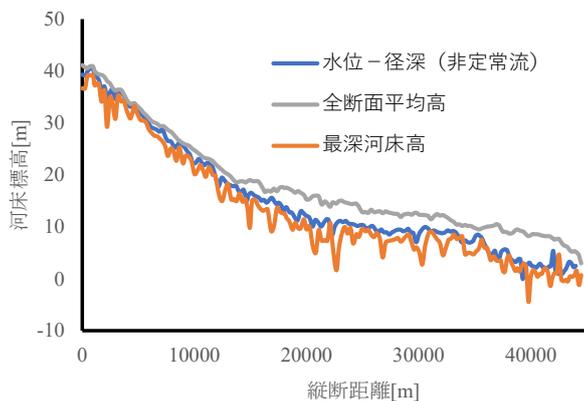


図4 河床代表高の縦断図

図3 2014年度測量士補試験問題

小さく、信濃川の水位計算において複数の断面で比較し、いずれの断面でその差は1cm未満であった。

(5)国土交通省の扱い方

「河川定期縦横断測量業務実施要領・同解説」¹⁾において、平均河床高は低水路平均河床高を用いるものとする。算定に当たっては、河川の実状に応じて判断するものとし、複断面水路の場合は、低水路内平均河床高を基本(図2)とし、単断面水路の場合は、H.W.L以下の平均河床高を算定するものとする¹⁾。

(6)その他

図3は2014年度測量士補試験問題で、横断測量から河床部における平均河床高を求めるものである。

「なお、河床部とは、左岸堤防表法尻から右岸堤防表法尻までの区間とする」という但し書きがある。ここでの平均河床高は左右岸表法尻(測点3と7)以下の河床の平均である。

3. 断面代表高と河床勾配の考察

現況河床勾配は平均河床高の縦断的連続性及び支川合流等の河道特性を考慮して同一河床勾配区間を目視により設定し、同一河床勾配と設定した区間における平均河床高を用いて、最小自乗法等により河床勾配を算定する¹⁾。ここで河床勾配の値自体ではなく、横断面代表高縦断図から2章の河床勾配や河床高の違いを考察する。計算区間は信濃川の小千谷観測所～渡部観測所である。

図4は全断面平均高、最深河床高と(水位-径深)の縦断図である。代表標高は全断面平均高が最も大きく、最深河床高が最も小さいことがわかる。定義か

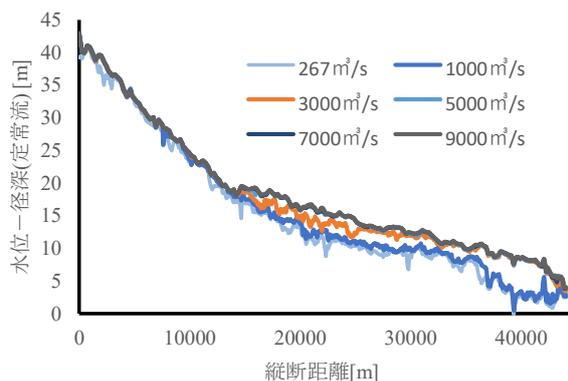


図5 一次元定常流の流量別河床高縦断図

らもわかるように前者は最も高水位流量向け、後者は最も定水位流量向けと考えられる。iRICのCERI1DのZave=(水位-径深)という平均河床高は、水位が刻々変わる非定常流にも関わらず、図4の状態では変化はなかった。確認するためにCERI1Dで定常流によるZaveを計算してその縦断図を図5にプットした。流量の増加でZaveも高くなっていく様子が見てとれる。ちなみに267 m³/sは非定常流計算の最初の数時間の流量で、そのZaveはZaveと一致する。よってCERI1Dの平均河床高は非定常流計算の場合、計算初期の流量に対応するものである。国交省実施要領¹⁾の複断面平均高と測量士補試験にある河床部平均高は、断面の不規則性から計算はできなかった。実施要領¹⁾の単断面平均高はH.W.Lがわかれば計算できる。

河床勾配と河床代表高は最深河床高を除いて上流の急勾配区間で流量による違いは少なく、下流で勾配が小さくなるにつれ、二つのグループに分離し始めるが、それぞれのグループの中で流量による違いは少ない。これが最適解を見つける切口になると思われる。

4. まとめと今後の課題

河川の維持管理や一次元開水路を解析する場合に重要とされる河床勾配や河床代表高を、横断面が不規則な自然河川を念頭に、信濃川の信濃川小千谷観測点～渡部観測点区間を用いて代表高の定義方法による違いや特徴を分析した。今後の課題は数値計算を用いてその合理的な定義法を検討することである。

参考文献

- 1)国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課河川保全企画室：河川定期縦横断測量業務実施要領・同解説，2018