

自然河川における河床高と河床勾配の扱い方に関する研究

水文気象研究室 水谷怜南

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図1の示されるように不規則的で，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代表河床高とする方法である。

(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とする方法である。

(3)水位-径深

これは水力学的に求められる仮想的河床高と考えられる。

(4)水位-平均水深

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

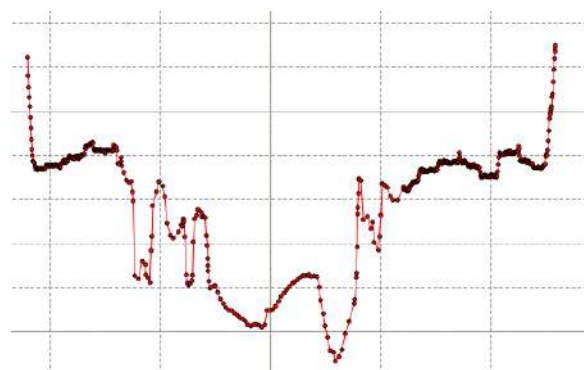


図1 信濃川のある横断測量断面 縦横比 40

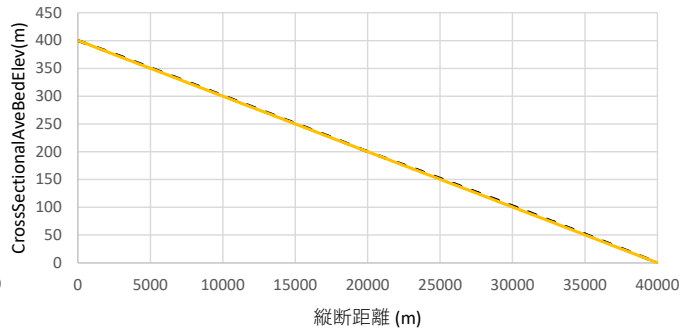
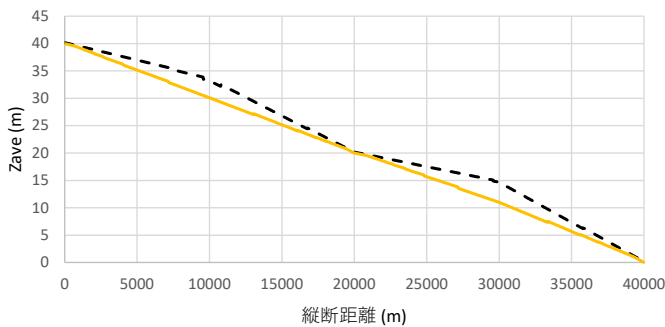
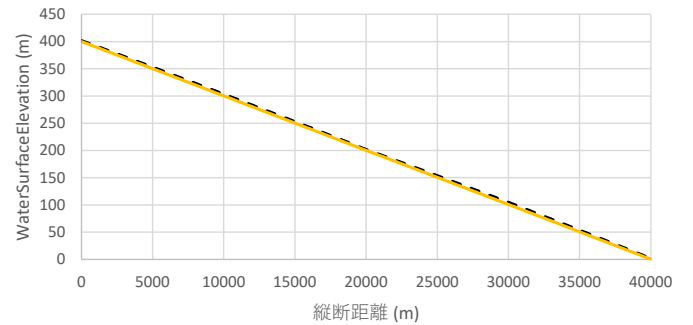
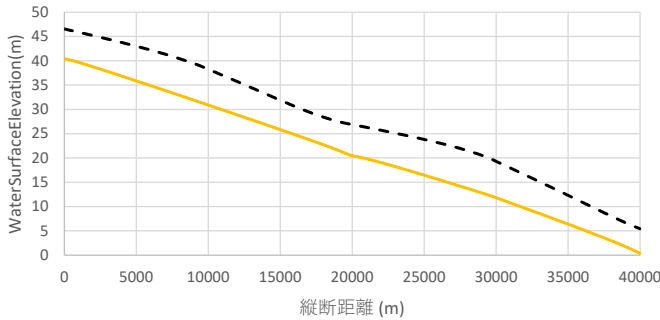
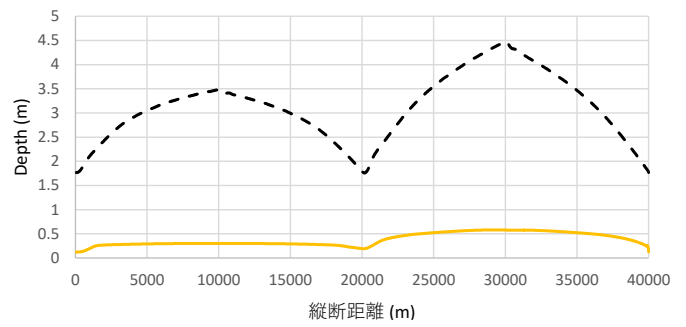
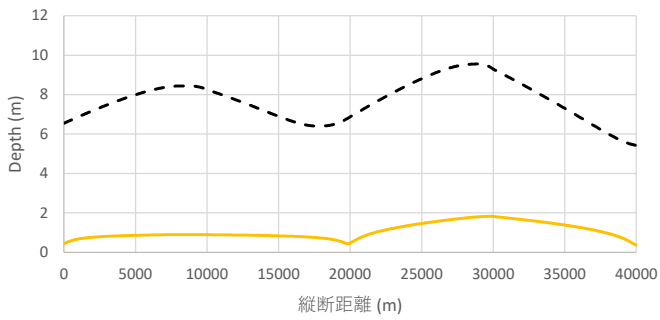
(5)国土交通省の扱い方

「河川定期縦横断測量業務実施要領・同解説」¹⁾において，複断面水路の場合は，低水路内平均河床高を基本とし，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⁾。

(1)と(2)は幾何学的な河床高で一意性がある。しかし，前者は水が常時流れていない河床を含んでおり，河床高が高く評価される。後者は，局所的な洗堀の影響を強く受けて，逆勾配が頻出してしまふ²⁾。一方，(3)から(5)は，実在しないものの水理学的な視点から合理性のある水理学的な河床高とも言える。本研究は水理学的な平均河床高である(3)と(4)に着目して重点的に調べた。

3. 仮想水路による代表河床高と河床勾配の考察

断面が変わる 40000m の仮想水路を用いて常流と射流にわたる水理学的仮想河床高の挙動を流量別で調べた。川幅は 750m で，縦断距離 0m に長方形，10000m に底辺が 150m の台形，20000m に長方形，30000m に三角形，40000m に長方形の断面を設け，制御断面間の断面は補間により得られる。定常流として，流量は 100 トン/s～9000 トン/s まで変化させ



-- 9000 ton/s 1次元 — 100 ton/s 1次元

-- 9000 ton/s 2次元 — 100 ton/s 2次元

図2 常流河川の水深，水位，河床高

図3 射流河川の水深，水位，河床高

た. 常流水路の勾配は1/1000, 射流水路の勾配は1/100とした. 図2と図3に最小と最大流量時の常流水路と射流水路で得られた水深, 水位, 河床高を示す. 但し, 常流水路の河床高は iRIC の 1次元ソルバー CER11D の Zave で, 射流水路の河床高は iRIC の 2次元ソルバー Nays2DH の CrossSectionalAveBedElev である. 前者は正確に(水位-径深)であるのに対して, 後者は水位以下の河床平均高である. Nays2DH は(水位-径深)を出力しないが, 流速は横断面内で一様に分布していると近似すれば, 水位以下の河床平均高は(水位-径深)に一致する(証明は紙面の関係で省略).

図2と図3を見比べると, 流量の変化で河床高は変化するものの, 射流の方が河床高のなす勾配に変化が小さく, 流量によって勾配が変わらないと考えていい. これは射流時の流量による水深変化が常流に比べて小さく, さらに勾配の大きい落差によって

僅かな水深変化が埋もれたからである. また, 常流水路において, 長方形断面で流量変化による河床高変化は小さく, 三角形や台形断面でその違いは大きくなる. 平らな断面であればあるほど, 代表河床高に及ぼす流量の影響は小さくなることは, 河床高の定義から自明である.

代表河床高は幾何学的代表河床高も, 水理学的代表河床高も, 一律に定義できる量ではなく, それぞれ一長一短があり, 流況条件に応じて, 幾何学および水理学的な代表河床高を適切に選択・解釈することが重要であることを, 本研究が示している.

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, 2018/4.
- 2) 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, 第42回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会.