

単断面・複断面河道における河道・低水路狭窄形状の違いによる水位低減効果

中央大学 学生会員 ○早澤 華怜
(株)大林組 正会員 小石 一字

中央大学 正会員 小山 直紀
中央大学研究開発機構 フェロー会員 山田 正

1. 研究背景・目的

近年、記録的大雨の生起回数が増加している。例えば、令和元年東日本台風では千曲川、また、令和2年7月豪雨では球磨川において、計画規模を超過する累積降雨量が計画降雨継続時間よりも短い期間で発生した。これら的大雨に伴い、当該の河川流域において大規模浸水被害が発生した。特に狭窄部では、洪水流が河道の通水能力を上回るために上流部で水位が上昇する背水現象が生じる。令和元年東日本台風では、千曲川の立ヶ花狭窄部において水位の堰上げによって越水が発生し、堤防決壊が生じた。そのため、狭窄部における背水現象による水面形の縦断的变化の解明は河川計画において重要であると考えられる。

小石・山田¹⁾は一次元不定流の計算により急縮部における水面形の形成過程及びその河道貯留効果を明らかにしている。一次元計算は、横断面内で平均化した水理量の縦断分布を計算する手法²⁾で、一方向の流れが卓越する場合の計算に適しており、計算負荷が少ないことが特徴である。しかし、一次元計算では、横断面方向の水理量を平均化しているため、河川横断面での水深や流速の分布を求めることはできない。他方、平面二次元の不定流の計算は、水深・流速の横断分布を求められることから、越水や堤防決壊の原因となり得る局所的な水位上昇や流速増減などの、一次元計算では求められない横断的な水理量を求めることができる。したがって、本研究では、狭窄部を持つ河道を対象とし狭窄形状や河道断面形が異なる場合の水面形を数値計算により求め、狭窄形状や河道断面形が背水現象に及ぼす影響を定量的にとらえることを目的とする。

2. 平面二次元不定流の数値計算条件

平面二次元不定流の基礎式は、連続式及び x 、 y 方向の運動方程式である。河道断面は、単断面、複断面でそれぞれ計算を行った。時間差分間隔 $\Delta t=0.2s$ 、空間差分間隔 $\Delta x=\Delta y=20m$ の矩形格子とし、staggered格子を用いて計算した。離散化には有限差分法を用い、時間差分は前進差分、空間差分は中心差分を用いた。ただし、移流項に関しては風上差分を用いた。初期水深は、各断面における等流水深を与えた。上流端流量は $10000m^3/s$ を定常的に与えた。最終的には千曲川の立ヶ花狭窄部における実断面での平面二次元不定流の計算を考えているため、数値計算の条件は、日本の中山間地の河川を想定して河床勾配 $1/1000^3)$ 、粗度係数は低水路部で $0.03^4)$ 、高水敷上で $0.05^4)$ とした。

キーワード 二次元不定流計算、狭窄部、背水現象

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部 TEL03-3817-1621 E-mail: a17.3h4j@g.chuo-u.ac.jp

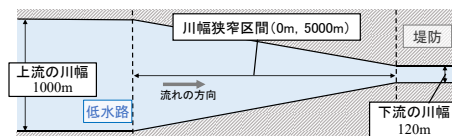


図-1(a) 設定した河道平面図（単断面）

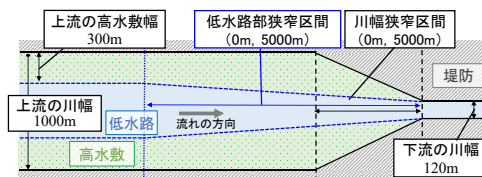


図-1(b) 設定した河道平面図（複断面）

図-1(a)、(b)はそれぞれ本計算で用いた単断面・複断面の河道の平面図である。狭窄区間の長さが背水現象に与える影響に着目するために、上流の川幅を1000m、下流の川幅を120mとし、狭窄区間の長さが0mの場合は急縮、5000mの場合を漸縮として計算した。複断面の場合は、上流の高水敷幅を片岸で300mとし、下流の川幅に接続するまで高水敷を設けた。高水敷の高さを5mとして、河道は急縮のまま低水路部狭窄区間を急縮と漸縮で計算した。

3. 結果と考察

図-2は、単断面・複断面における急縮と漸縮の河道で計算した場合の定常時の河道中央での縦断的な水位である。赤・橙線が急縮、青・水色線が漸縮の計算結果である。狭窄部上流側2kmの範囲において、単断面・複断面ともに急縮よりも漸縮の方が最大2m程度水位が低くなっていることから、漸縮河道には水位低減効果があることが分かる。

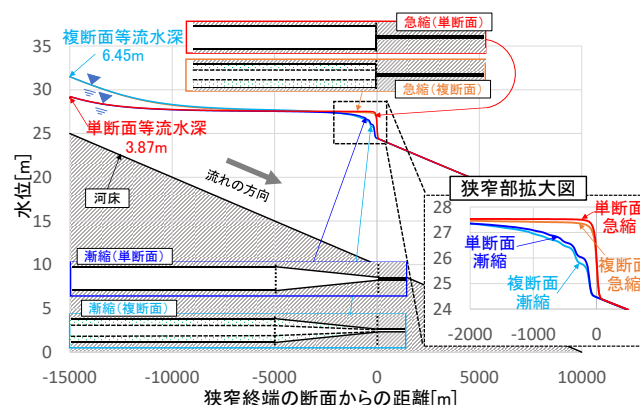


図-2 単断面・複断面における急縮と漸縮の縦断的な水位の比較

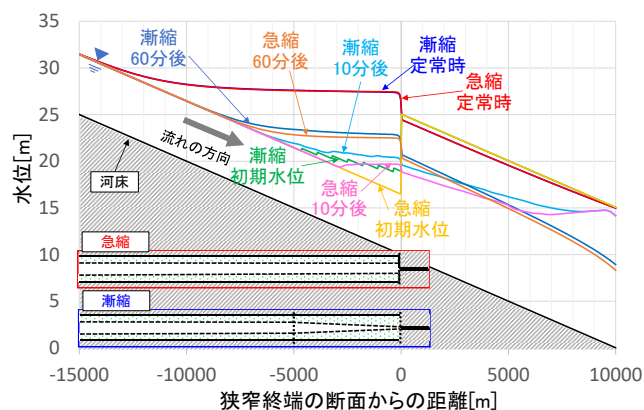


図-3 複断面における低水路部が急縮と漸縮の場合の
水面形成過程

図-3は、定常時の水面形とその水面形形成過程を調べるために、複断面において河道は急縮のまま低水路部の狭窄区間を急縮・漸縮にして計算した場合の初期水位（各断面における等流水深）、計算開始10分後、60分後の水位、定常時の水位の河道中央での縦断的な分布である。計算開始後10分の時点で狭窄部上流において背水による水位上昇がみられ、時間経過とともに水位が上昇し下流端が等流水深に漸近する。定常時には低水路部が急縮と漸縮の場合の水位は急縮の方が大きくその差は5cm程度であり、図-2の場合と比べてその水位差は小さい。図-4は、複断面において河道を漸縮にした場合と河道は急縮のまま低水路のみを漸縮にした場合の計算開始後から各時間における水面形である。河道を漸縮にした場合には計算開始10分後に上流に向かって段波が生じ、河道は急縮のまま低水路のみを漸縮にした場合よりも上流側の水位上昇が早い。

図-2のように単断面・複断面で河道狭窄距離を変えた場合では漸縮と急縮で水位差を生じたことから、高水敷の高さを5mから0.5mずつ上昇させ、単断面のように低水路部の流積が大きくなるように高水敷の水深を小さくして計算した。その結果、高水敷の高さが高いほど漸縮と急縮の水位差は大きくなったが、その差は数cm程度であった。高水敷上では低水路部に比べて粗度係数は大きく流速は小さいため、水深を上昇させる効果がある。そのため、高水敷の流積が水位上昇に及ぼす影響を見るために全流積に対する高水敷の流積の割合を求めた。図-5は、河道は急縮のままで低水路部を漸縮・急縮にし、高水敷の高さを変えて計算した場合の全流積に対する高水敷の流積の割合である。全流積に占める高水敷の流積の割合が狭窄部上流側で急縮が最大5割程度であるのに対し、漸縮では9割に近い値となった。上流端では高水敷の高さが高いほど高水敷の流積の割合が小さくなっているが、狭窄部上流側では高水敷の流積の割合は高水敷の高さによらず5~9割程度の高い値となった。したがって、低水路部のみを漸縮にした場合には高水敷での河道貯留効果が水位低減効果を抑制した要因の一つだと考えられる。

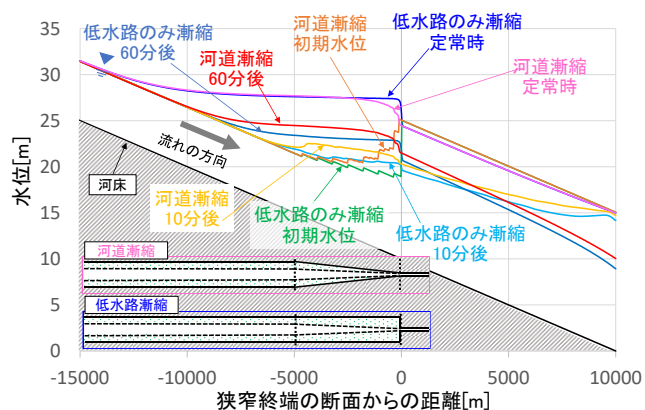


図-4 複断面における河道狭窄と低水路のみ狭窄の場合の
水面形成過程

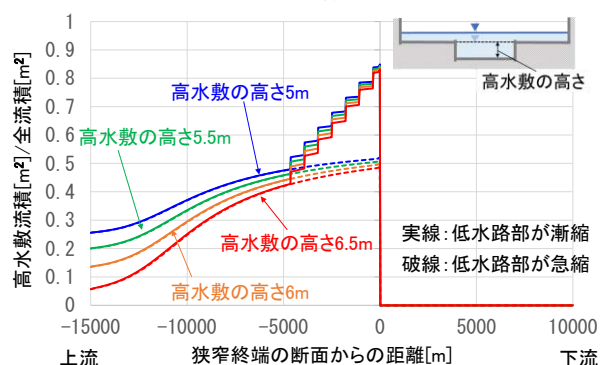


図-5 複断面における全流積に対する高水敷の流積の割合

4. まとめと今後の展望

本研究では狭窄長さや断面形状が背水現象に与える影響を平面二次元不定流の数値計算より明らかにした。得られた知見を以下に示す。

- 1) 河道を狭窄した場合、単断面・複断面ともに急縮よりも漸縮の河道の方が狭窄部上流側で水位が低くなる。
- 2) 本計算で用いた複断面河道では河道は急縮で低水路のみを急縮・漸縮にした場合、河道狭窄の計算結果に比べ水位差は小さい。
- 3) 高水敷の高さを変えた場合の全流積に対する高水敷の流積の割合は狭窄部上流側で高水敷高さによらず5~9割程度の値となった。すなわち、高水敷の河道貯留効果は漸縮の方が急縮よりも大きいと言える。

今後は最も水位低減効果の現れる河道形状の検討を行いたい。

参考文献

- 1) 小石一字, 山田正: 急縮部を有する河川における水位の縦断特性と河道貯留効果, 土木学会論文集 G (環境), vol.73, No.5, I_331-I_337, 2017.
- 2) 国土交通省: 河川砂防技術基準調査編, 第5章, 3節-3, 平成26年4月
- 3) 国土交通省河川局: 信濃川水系河川整備基本方針, pp. 3
- 4) 日野幹雄: 明解水理学, pp. 142, 丸善出版, 1983. 第31刷2017.