

河川狭窄部の形状の違いによる水理量の縦断・横断分布特性

中央大学 学生会員 ○早澤 華怜 中央大学 正会員 小山 直紀

富山大学 正会員 小石 一字 中央大学 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、河川横断面での水位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、水位・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、狭窄部をもつ河道を対象とし数値計算により背水現象における水理量の縦断・横断分布を求めるとともに局所的な水位上昇・流速増減の現象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基礎方程式

平面二次元不定流の基礎式は、以下に示す連続式及び x , y 方向の運動方程式である。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} &\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial(uM)}{\partial x} + \frac{\partial(vM)}{\partial y} \\ &= -gh \frac{\partial(z_b + h)}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho} + \varepsilon \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

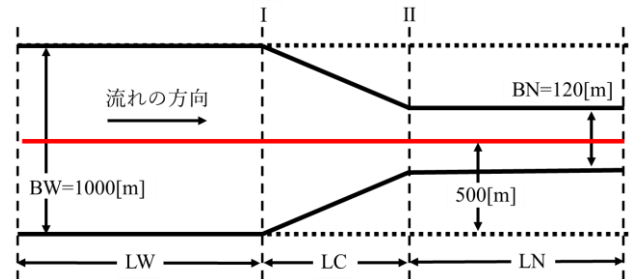


図-1 河道平面図と記号の定義

$$\begin{aligned} &\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial(uN)}{\partial x} + \frac{\partial(vN)}{\partial y} \\ &= -gh \frac{\partial(z_b + h)}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho} + \varepsilon \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

ただし、

$$\begin{aligned} \tau_{bx} &= \frac{\rho g n^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \\ \tau_{by} &= \frac{\rho g n^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \end{aligned}$$

ここに、 h [m]:水深, u, v [m/s]: x, y 方向の流速, M, N [m^3/s]: x, y 方向の流量フラックス($M=uh$, $N=vh$), z_b [m]:地盤の標高, τ_{bx}, τ_{by} [N/m^2]: x, y 方向の底面せん断応力, n [$\text{s}/\text{m}^{1/3}$]:粗度係数, g [m/s^2]:重力加速度, ε [m^2/s]:水平方向渦動粘性係数である。

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1/1000³⁾、粗度係数0.03⁴⁾とした。

3. 数値計算条件

河道断面は、狭窄部の影響のみを解析するために単断面とし、時間差分間隔 $\Delta t=0.5\text{s}$ 、空間差分間隔 $\Delta x=50\text{m}$ 、 $\Delta y=10\text{m}$ の矩形格子とした。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。初期水深は一樣とし、上流端流量は $2000\text{m}^3/\text{s}$ を定常的に与えた。川幅が変化する区間の距離が背水現象に与える影響に着目するために、図-1に示すような狭窄部を持つ河道を設定し、数値実験を行っ

キーワード 二次元不定流計算, 狭窄部, 背水現象, 急縮, 漸縮

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部 TEL03-3817-1807 E-mail : a17.3h4j@g.chuo-u.ac.jp

た. 上流の川幅 $BW=1000\text{m}$, 下流の川幅 $BN=120\text{m}$ とした. また, 断面Iから断面IIまでの川幅が変化する部分の長さを LC とし, これを 0m から 500m ずつ最大 2000m まで変化させた.

4. 結果と考察

図-2は川幅が変化する部分の長さ LC を変えたときの定常時における図-1における赤線上での縦断面内の水位を表す. LC が 2000m の場合には背水現象による水位上昇は見られないが LC が 0m の場合には堰上げ背水による水位上昇が生じており, その差は最大で約 4m である. この結果から川幅が変化する部分の長さ LC が短いほど堰上げによる水位上昇は起こりやすくなるといえる. つまり, 急に川幅が狭くなる河道よりも緩やかに川幅が狭くなる河道の方が背水現象の影響は小さいといえる.

図-3(a), (b)は定常時における川幅が狭くなり始めるI断面から 50m 上流における横断面での流下方向・横断方向の流速を示す. 流下方向・横断方向ともに流速は横断的に変化しており, 流下方向流速は川幅が変化する部分の長さ LC が長い場合には横断面内ではほぼ一様である. これに対し, LC が 0m の場合には, 下流側が壁面ではなく河道が続いている水路中央部分($440\text{m}\sim 560\text{m}$)において流下方向流速が特に大きくなっている. 横断方向流速は川幅が変化する部分の長さ LC が短いほど河道中央に向かう流れが大きくなっている.

5. まとめと今後の展望

本研究では数値計算で平面二次元の不定流を解くことにより, 狭窄部の形状が背水現象や水理量の縦断・横断分布に与える影響を明らかにした. 得られた知見を以下に示す.

- 1) 本研究で設定した河道において川幅が変化する部分の長さ LC を変えて計算を行った結果, LC の長さが短くなるほど背水現象による水位上昇が大きい. つまり急縮する河道よりも漸縮の河道の方が背水現象の影響が小さい.
- 2) LC の長さが短いほど下流側が壁面ではなく河道が続いている部分で流下方向の流速が特に大きくなる.
- 3) 横断方向の流速は LC の長さが短いほど最大値が小さくなる.

今後は断面形を複断面にし, 狭窄形状の違いがもたらす背水による水位上昇に伴う越流への影響を明らかにしたい.

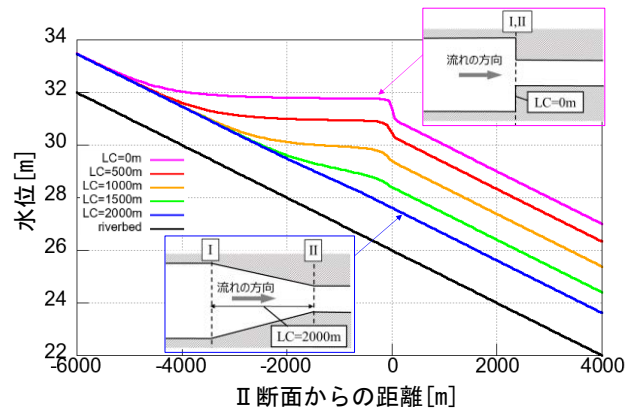


図-2 川幅が変化する部分の長さと水位の関係

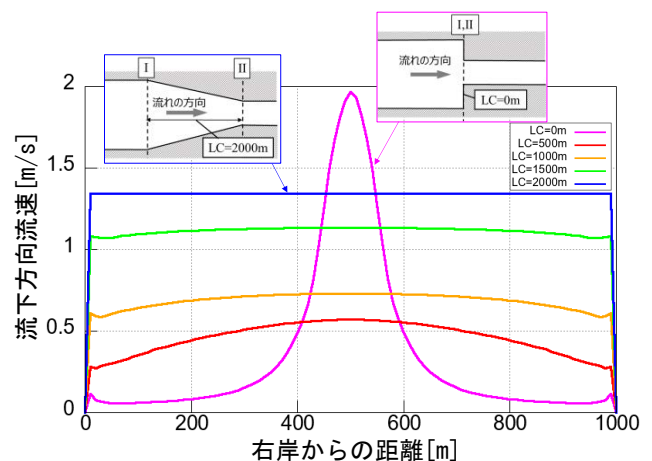


図-3(a) 横断面内の流下方向の流速 (I断面から上流側に50m)

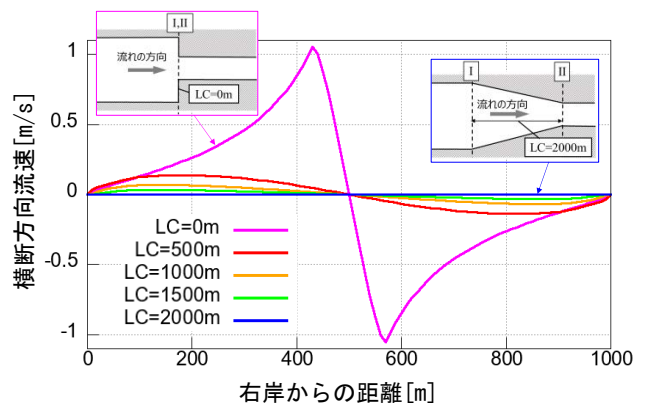


図-3(b) 横断面内の横断方向の流速 (I断面から上流側に50m)

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.