# 河道の狭窄形状の違いが背水現象に及ぼす影響

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　一宇　　中央大学　フェロー会員　　山田　正

## １．研究背景・目的

近年，大雨などの極端な気象の生起数が増加している．例えば，2019 年には台風第 19 号の影響により，千曲川，また，2020 年 7 月には球磨川において，計画規模を上回る量の累積降雨が計画降雨継続時間よりも短い期間で発生した．これらの大雨に伴い，当該の河川流域において越水・堤防決壊の被害が発生した．特に狭窄部では，上流に比べて下流で川幅が小さくなるため下流側で水が流れにくくなり，上流で水位が上昇する背水（back water）現象が起こる．2019 年に発生した台風第 19 号では，千曲川の立ヶ花狭窄部における水位の堰上げによって越水し，越水箇所において堤防決壊が生じた．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変化の解明は河川行政における治水上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，本論文では，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．

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

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

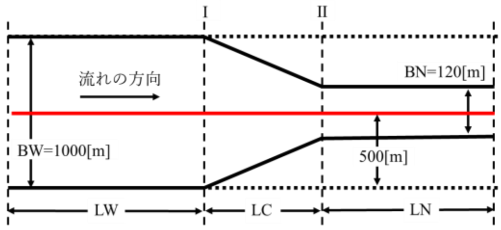



図-1 (a)　河道平面図と記号の定義（Case-1）

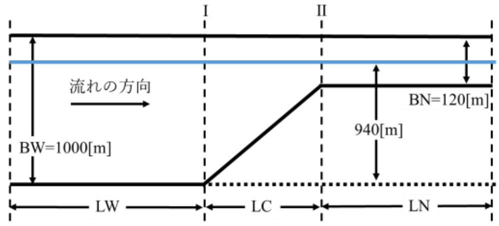



図-1 (b)　河道平面図と記号の定義（Case-2）

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

ただし，

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

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

ここに，$h$[m]:水深，$u$, $v$[m/s]:x,y 方向の流速，$M$, $N$[m²/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，$\tau_{bx}$，$\tau_{by}$[N/m²]:x,y 方向の底面せん断応力，$n[s/m^{1/3}]$:粗度係数，$g[m/s^2]$:重力加速度，$\varepsilon[m^2/s]$: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 1/1000，粗度係数 0.03 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 Δt=0.5s，空間差分間隔 Δx=Δy=50m 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．初期水深は一様とし，上流端流量は 2000 m³/s を

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 TEL03-3817-1807　E-mail：a17.3h4j@g.chuo-u.ac.jp

定常的に与えた．上流の河道幅に対する狭窄部の接続形状の違いと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(a)，(b)に示すような2種類の河道を設定し，数値実験を行った．Case-1, Case-2 共に BW＝1000m, BN＝120m 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50mずつ最大550mまで変化させた．

## ４．結果と考察

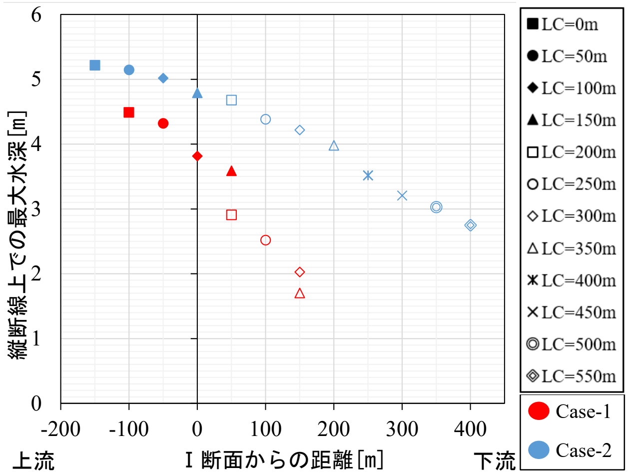
図−1(a)，(b)は河道の平面図であり，赤または青線で示すのは狭窄部の中心を通る縦断的な直線である．図−2 は LC の長さを変えたときの Case-1，2 の定常時における赤または青線上の最大水深とⅠ断面からの距離を表す．Case-1 では，川幅が変化する部分の長さ LC が 400m を境に堰上げ背水がみられなくなり，水深が縦断的に一定で最大値が得られなかったため LC≧400m の値は図−2 にはプロットしていない．Case-2 では，Case-1 より LC が長くなっても，上流において背水による水位上昇がみられる．Case-1，2 を比較すると，最大水深は LC の長さが等しい場合でも Case-2 の方が Case-1 より大きくなる．また，LC の長さが長くなるにつれ，最大水深は低下し，最大水深が現れる位置は下流側へ変化する．この結果から LC が長いほど堰上げによる水位上昇は起こりにくくなるといえる．また，Case-2 のようなより遠くから水が集まる形状の場合には堰上げ背水による水位上昇が大きくなると考えられる．LC=50m の場合に図−2 で示される最大水深が現れる位置における定常時の横断面での水深・流速は，図−3 のように，横断的に変化している．下流に河道がある部分において水深が小さくなり流下方向の流速は大きくなる．また，Case-1, 2 共に川幅が変化する壁面では水深が大きくなる．

## ５．まとめと今後の展望

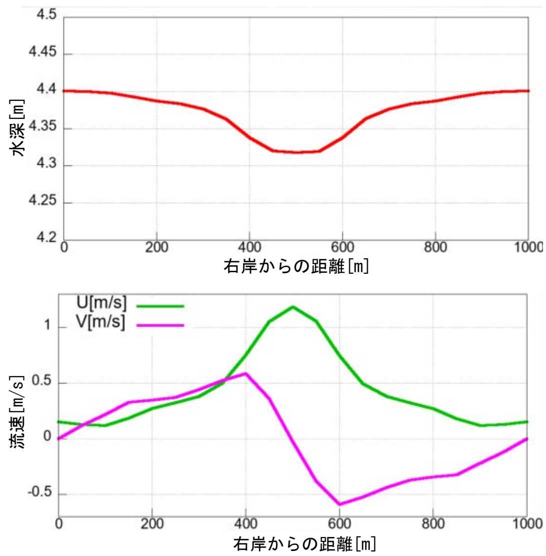
本研究では数値計算で平面二次元不定流を解くことにより，狭窄部の形状が背水現象に与える影響を明らかにした．得られた知見を以下に示す．

1) 上流に対する下流の狭窄部の形状が違う Case-1, 2 を計算すると Case-1 よりも Case-2 の方が堰上げ量が大きく，LC が長い場合でも背水現象が起こる．
2) LC が長くなるにつれ堰上げによる水深は小さくなり，縦断面での最大水深をとる位置は下流側へ変化する．
3) 横断面内では下流に河道がある部分で水深が小さく，流速は大きくなる．

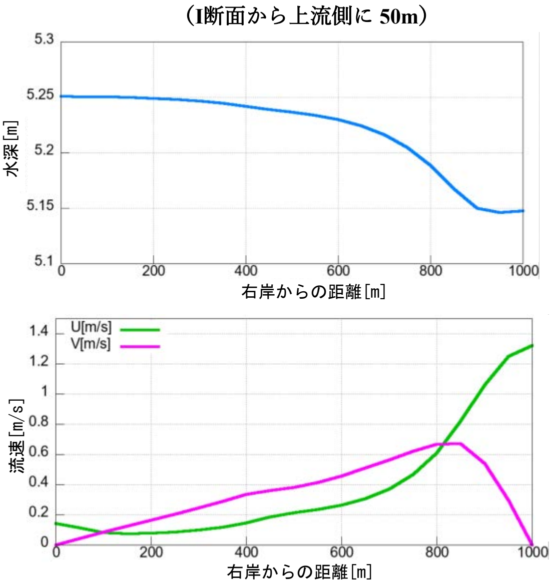
今後は断面形を複断面にし，狭窄形状の違いがもたらす背水による水位上昇に伴う越流への影響を明らかにしたい．




図−2 狭窄形状と最大水深の関係




図−3(a) （Case-1）LC=50m の場合の横断面での水深と流速（Ⅰ断面から上流側に 50m）




図−3(b) （Case-2）LC=50m の場合の横断面での水深と流速（Ⅰ断面から上流側に 100m）

## 参考文献

1) 小石一宇，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：河川における洪水流の水理解析，第5章，3節-3