

## 河川狭窄部における越流に関する研究

中央大学大学院 学生員 北田 悟  
中央大学大学院 学生員 呉 修一

中央大学大学院 学生員 Aikebaier Yusufu  
中央大学理工学部 正会員 山田 拓也  
中央大学理工学部 フェロー会員 山田 正

**1. はじめに**：近年，世界各地では2002年のヨーロッパ水害，2005年のハリケーンカトリーナによる災害，2006年のフィリピン中部における豪雨災害のように豪雨による災害が頻発しており，わが国においても2004年には実に10個もの台風が日本列島に上陸し，さらに同年7月の新潟・福島豪雨(梅雨前線)，福井豪雨(梅雨前線)による被害も記憶に新しい．このように台風や前線に伴う豪雨が発生した場合，河川における狭窄部や蛇行部では上流からの洪水流がその通水能力を上回り，越流または破堤による甚大な内水氾濫被害をもたらすことが想定される．

本論文は河川の洪水流出・氾濫特性や水面形などに影響を与える様々な河道特性の中から狭窄部に着目し，2次元不定流計算による越流現象の解析，また河道特性が洪水流出・氾濫特性や水面形などに与える影響の解明を水理学的観点から行った．

**2. 数値計算条件及び設定領域**：本論文では河道部，氾濫原部の両計算において2次元不定流の計算を行った．計算領域は20km×1kmの長方形とし，河道形状は河道長(水平方向)20km，一様川幅100m，河床勾配1/1000，堤防高5m，堤防天端幅5m，堤敷幅55m，堤防裏のり勾配1/20とした．また河道の上流端から5kmの位置に図-1のような狭窄部を設定した．計算条件は，渦動粘性係数 $\nu = 0.5\text{m}^2/\text{s}$ ，Manningの粗度係数は河道内で $n = 0.03\text{s}/\text{m}^{1/3}$ ，堤防天端及び裏のりで $n = 0.05\text{s}/\text{m}^{1/3}$ ，堤内地で $n = 0.07\text{s}/\text{m}^{1/3}$ ，時間差分間隔 $\Delta t = 0.1\text{s}$ ，空間差分間隔 $\Delta x = \Delta y = 5\text{m}$ の矩形メッシュを用いて差分法により計算した．狭窄部幅は30mから90mまで10m間隔で変化させそれぞれ2次元不定流計算を行った．ここで狭窄部形状の変更は堤防の急縮・急拡角度及び狭窄部直線部分の長さを固定して行った．また本論文では，一様川幅を $b_1$ ，狭窄部幅を $b_2$ としてその比をとった $b_2/b_1$ (以後，河幅比と記す)を用いる．

**3. 初期条件及び境界条件**：初期条件は，一様川幅で等流水深2.5mに落ち着くような流量 $485\text{m}^3/\text{s}$ を上流端から流入させ，十分な時間経過後の定常状態における標高データ，水位データ， $x, y$ 軸方向の線流量データを初期条件として与えた．上流端境界条件は流入量で与え，そのハイドログラフの形状はピーク流量を $1500\text{m}^3/\text{s}$ としてSine関数で与えた．下流端境界条件は水位で与え，水深が2.5mになるような水位で一定とした．ここで下流端水位を固定したことによる上流への影響を無くするため河道延長を20kmにした．

**4. 1. 定常時(越流なし)**：定常時(越流なし)の河道中央における縦断方向の水面形，流速分布，Froude数分布を図-2に示す．ここで計算結果は上流端から10kmまでを示す．狭窄部の上端では河幅比が小さいほど水面が高く堰上がり，狭窄部より上流に堰上げが伝わる距離も長いことがわかる．

狭窄部内部(直線部分)では河幅比が小さいほど水面勾配が大きく流速も速い．また狭窄部内部の下流側では水深が最小値をとる．水面形が河道形状の変化の影響を受けていない狭窄部より下流側における流速は $1.9\text{m}/\text{s}$ であり，Froude数は0.4である．また河幅比が0.3及び0.4のケースは狭窄部内部(直線部分)でFroude数が1.0を超え射流が現れているのがわかる．

**4. 2. 越流直前時(越流なし)**：各河幅比のケースにおける越流直前時(越流なし)の河道中央縦断方向の水面形，流速分布，Froude数分布を図-3に示す．水深はどのケースにおいても狭窄部上端付近でピークをむかえ，河幅比が大きいほどより上流側まで水面が堰上がっていることがわかる．また河幅比が小さいほど狭窄部より上流側の水面勾配が大きく，より局所的に越流が生じる原因となった．

狭窄部内部(直線部分)では定常時に比べて相対的に水深が大きくなっているが，狭窄部外のように流速が増加するまたは水面形が大きく変化することはない．

狭窄部より下流側では河幅比が小さいほど上流側の影響が少なく水深・流速ともにより小さい値をとっている．ここで注意しなければならないことは各ケースで計算開始から越流開始までの時間が異なることである．す

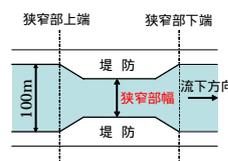


図-1 狭窄部拡大図

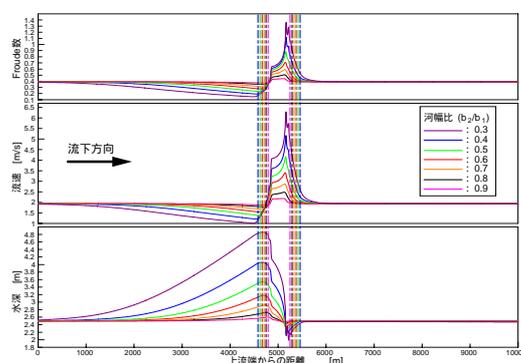


図-2 定常時における河道中央縦断面図  
(破線は各ケースの狭窄部位置を表す)

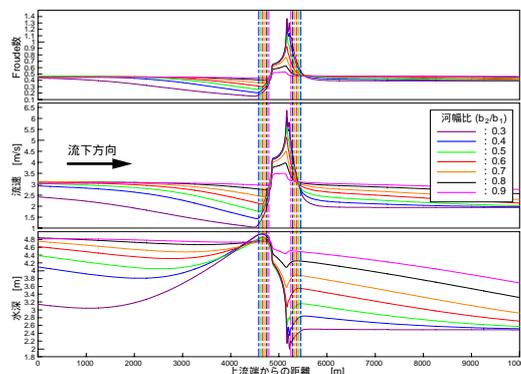


図-3 越流直前時における河道中央縦断面図  
(破線は各ケースの狭窄部の位置を表す)

キーワード：狭窄部，越流，2次元不定流計算

連絡先：〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学大学院理工学研究科土木工学専攻 河川・水文研究室 TEL:03-3817-1805 E-mail:satoru@civil.chuo-u.ac.jp

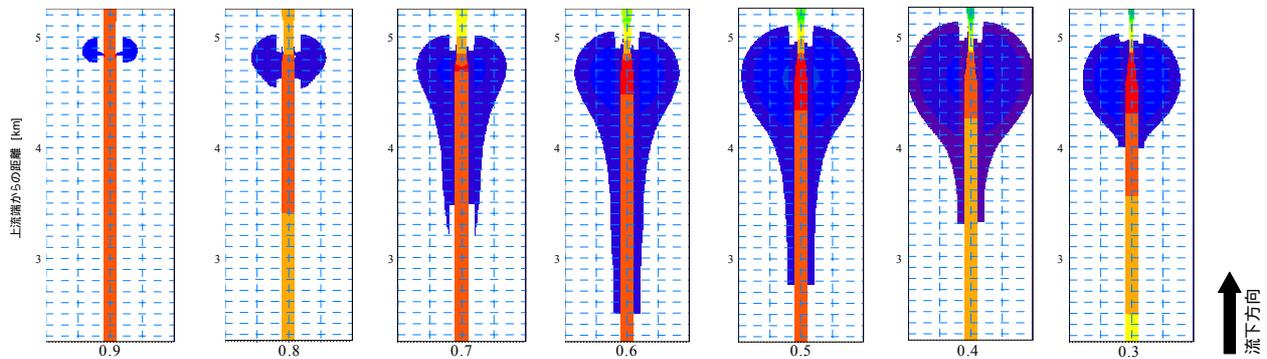


図-6 越流開始から 20 分後における浸水範囲

なわち河幅比が小さいほど河川流量が少量の時点から越流が開始することになる。

**4.3. 越流後:** (1) 河幅比を横軸に、溢水量を縦軸にとり越流開始 2 分後から 2 分毎にグラフにしたものが図-4 である。越流開始直後から常に溢水量が最も多いのは河幅比が 0.5 のケースであり、さらに河幅比を小さくするとそれよりも溢水量が少なくなる。また河幅比が 0.4 のケースと 0.3 のケースと比較すると、0.4 のケースの方が溢水量は少ない。また本論文では図面を割愛したが上流端の流入量ハイドログラフの周期を 5 時間にした場合では、河幅比が 0.4 のケースが最も溢水量が多く、0.3 のケースが最も溢水量が少ないことがわかった。

(2) 各河幅比のケースにおける総溢水量(最終的に溢れた水の量)を図-5 に示す。横軸は河幅比、縦軸は総溢水量である。河幅比を小さくするほど総溢水量は指数関数的に増加することがわかる。また越流開始直後 20 分間の場合と比較すると溢水量の大小関係が入れ替わっていることから、溢水量のみに着目した場合、越流開始直後では上流からの流入量の増加傾向によって溢れやすい、もしくは溢れにくい狭窄部形状が存在し、最終的な総溢水量は河幅比に依存する。ここで溢水量とは氾濫原における各メッシュの湛水深に 1 メッシュの面積を乗じて足し合わせたものである。

(3) 各河幅比のケースにおける越流開始 20 分後の浸水範囲を図-6 に示す。それぞれ縦軸は上流端からの距離をとり 1 メトリ(破線から次の破線まで)100m、横幅は 1000m である。河幅比が 0.9 や 0.8 の場合、他のケースに比べて狭窄部より上流側に水面が堰上がる距離が長く越流直前の河川流量も多いが、河幅比が相対的に大きい故に狭窄部より上流側では越流現象は見られず溢水量及び溢水面積の値も小さい。しかし、河幅比が 0.5 前後の場合、前述に比べ狭窄部より上流側に水面が堰上がる距離及び越流直前の河川流量の値は小さいものの、狭窄部より 2km 以上上流の地点においても越流現象が見られる。これは河幅比を小さくしたことが直接寄与したものと考えられる。また、河幅比が 0.3 の場合は本論文で計算を行った中で河幅比が最も小さいが、越流直前の河川流量が他のケースに比べて少なく、4.2 でも述べたように局所的に越流が生じたため溢水面積は河幅比が 0.7 のケースとほぼ変わらない。

**5. まとめ:** 本論文は狭窄部を有する河川の定常時、越流直前、越流が生じてからの溢水量及び浸水範囲について述べたものである。各河幅比において、総溢水量で見ると河幅比が小さいほど溢水量の値が大きく、越流開始直後から 20 分間で見ると水が溢れやすい、もしくは溢れにくい河幅比が存在することがわかった。これは河幅比と越流開始時における河川流量の相互の関係から溢れやすい条件が合致した場合に大量の水が溢水するものと考えられる。また、各河幅比のケースにおける溢水継続時間は河幅比が小さくなるほど増加することから、越流直後 20 分間に溢水量が相対的に少なかった河幅比 0.3 や 0.4 のケースは、ピーク流量時に溢水量が多くなりその結果総溢水量が増大する。以上により、河川狭窄部の形状と流量ハイドログラフの特性から、越流開始直後から溢水終了後までの減災対策や洪水流出・氾濫特性の把握が行えることを示した。

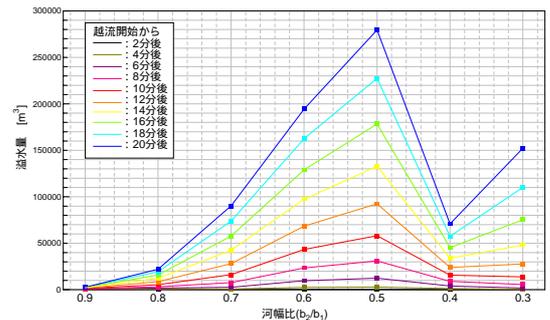


図-4 狭窄部幅の違いによる溢水量の変化

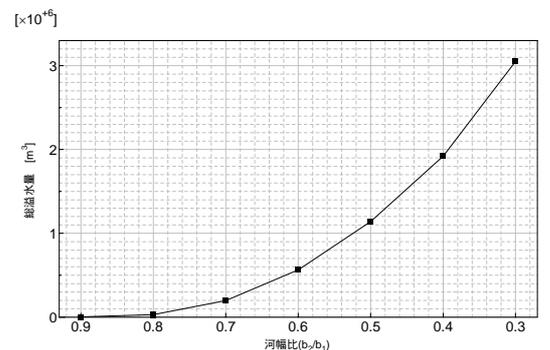


図-5 狭窄部幅の違いによる総溢水量の変化

<参考文献>

- 1) 白壁角崇, 岡田将治, 山田正. ダム破壊に伴う 2 次元氾濫シミュレーション, 第 32 回土木学会関東支部学術研究発表会講演概要集, -75, 2005
- 2) 安田浩保, 白土正美, 後藤智明, 山田正. 水防活動の支援を目的とした高速演算可能な浸水域予測モデルの開発, 土木学会論文集, No.740/ -64, 1-17, 2003.8
- 3) 石川忠晴. 堤防越水をとまなう直線断面河道の水形, 第 26 回水理講演会論文集, pp.417-422, 1982