河道湾曲部における破堤発生状況と洪水流挙動の解析

豊田工業高等専門学校　学生会員　○澤　洸太
豊田工業高等専門学校　　正会員　田中　貴幸

1. 研究背景および目的

日本では，大型台風や集中豪雨により洪水氾濫が頻発し，全国各地で壊滅的な被害を受けている．特に河川の湾曲部では，河川流量の増水時に外岸側が水衝部となるため破堤が発生しやすい状況となる．しかしながら，その発生状況については未解明な部分も多く，より詳細な破堤発生箇所についての解明が急務となっている．

破堤に関する研究として，藤田ら[1)]の河川堤防の決壊口の拡大過程に関する研究などが挙げられるが，直線河道以外の法線形状に関しても流れ構造を把握する必要がある．

そこで本研究では，河道湾曲部を対象に，堤防模型を設置した際の破堤発生箇所について検討するとともに，洪水流の挙動を実験および数値解析により明らかにする．

2. 実験装置および実験・解析方法

実験は，全長 180cm，幅 90cm の模型台上に，川幅が B=20cm となるように，幅 5cm，高さ 10cm の堤防模型を作成して行った．湾曲部の曲率半径は R=60cm，接線角は θ=60° である．河道形状を**図-1** に示す．

堤防模型の材料には，八木ら[2)]の堤防模型材料を参考に，珪砂と藤森粘土を 2:1 で混合したものを用いた．河川堤防の締固め度は，品質管理基準値が Dc=90%以上と定められているため，土質の締固め試験の C 法をもとに作成し，土の乾燥密度は 1.948g/cm^3～2.380g/cm^3 の範囲で行った．

模型作成後，PIV 法を用いて表面流の解析を行い，さらに，数値シミュレーションによって内部構造の解析を試みる．トレーサーは粒径 30μm，比重 1.02 のナイロン粒子を用いた．ビデオカメラによる可視化画像は，30fps（frame per second），1920×1080（pixel）のビデオ画像とし，解析時間は t=30s とした．

3. 模型実験

堤防模型に流量 Q=2ℓ/s を流した際の，破堤発生箇所を**図-1** に示す．越流と非越流のそれぞれについて実験を数回行った．非越流時では，湾曲部より上流の左岸側直線部で破堤が発生するケースが多い結果となった．越流時では湾曲部より上流の右岸側直線部で最も破堤した．また，左岸側においても数回破堤が発生している．越流については流れが複雑となるため，本研究では，まずは非越流について詳細に検討していく．非越流時の破堤は，堤防模型の底面に水が浸透していき，堤防の下部から崩れ始めるケースがほとんどであった．

PIV 法によって得られた表面流速のベクトル分布及び等値線を**図-2** に示す．直線部では左岸に比べ右岸側の流速が速く，湾曲部に入るにつれて左岸側の流速が速くなっていることが確認できる．この結果から，表面流において破堤発生箇所の流

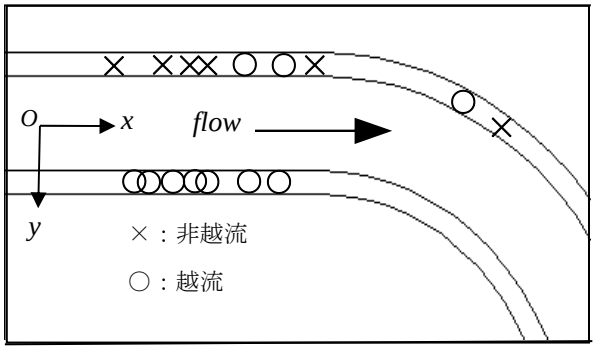

図-1 河道形状および破堤発生箇所

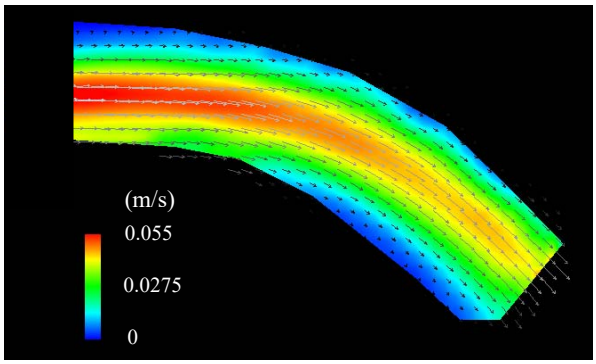

図-2 PIV 法による表面流速ベクトル及び等値線

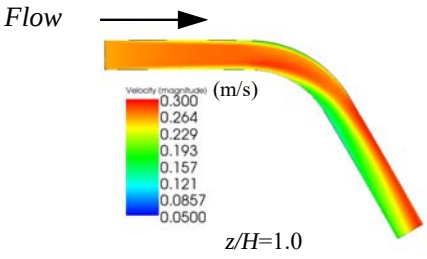

図-3　数値解析における表面流の流速強度等値線

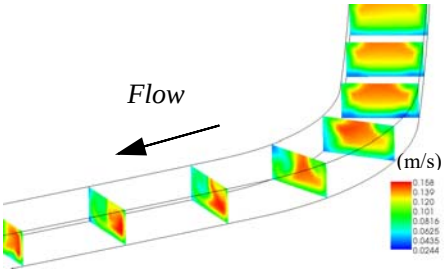

図-5　数値解析における横断面の流速強度等値線

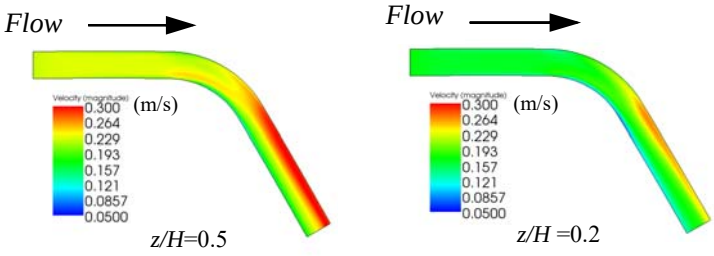

図-4　数値解析における水平面の流速強度等値線

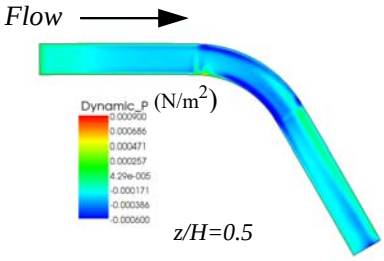

図-6 数値解析における動圧力等値線

速が発達しているとは認められなかったため，水面下について数値シミュレーションを行い，流れ構造の把握を試みた．

4. 数値シミュレーション

数値解析では，iRIC ソフトウェアの NaysCUBE ソルバーを用いて解析を行う．計算メッシュは 1cm×1cm×1cm とし，解析時間は t=60s とした．

数値解析における表面流の流速強度の等値線を**図-3** に示す．図より，河道湾曲後は遠心力効果により流速の極大値は外岸側である左岸側に表れている様子が認められる．これらは**図-2** の PIV 法によって得た等値線と同様な分布傾向を示したことから，数値解析がある程度の再現性があることを確認した．

水平面における z/H=0.5, z/H=0.2 の流速強度の等値線を**図-4** に示す．いずれの鉛直位置においても，表面流に比べ上流側直線部では流速強度が小さな値を示すものの，湾曲部に進入直後は内岸側にて流速は大きな値を示し，その後遠心力効果により外岸側の流速が大きくなっている様子が伺える．

図-5 に横断面における流速強度の等値線を示す．図より，直線部から湾曲部進入直後では，左岸側の流速は半水深よりやや底面付近にて大きな値を示しており，右岸側の流速が小さな値を示している．また，湾曲部から直線部へ流入後は右岸側の流速も徐々に大きくなる様子が伺える．

図-6 に z/H=0.5 における動圧力の等値線を示す．直線部から湾曲部進入直後の左岸側において，河道中心から外岸方向への動圧力が大きな値を示すことが認められる．この動圧力の影響により，湾曲部より上流の外岸側にて破堤が発生しやすい状況となると考えられる．

5. まとめ

本研究では，堤防模型を用いた実験によって湾曲部を有する河道の破堤箇所の検討を行った．また，PIV 法や数値解析により流れ構造を明らかにすることで，破堤発生箇所との関係を解明した．

【参考文献】

1) 藤田裕一郎，田村多佳志，村本嘉雄：河川堤防決壊口の拡大過程に関する実験的研究，京大防災研究所年報，Vol.27B-2，1984.
2) 八木啓介，中村孝博，磯部公一，大塚悟: 剛塑性有限要素解析による河川堤防の浸透崩壊時刻予測手法の提案，応用力学論文集 Vol.13，pp.391-400，2010.