

霞堤内部の流れの3次元性に地形構成が及ぼす影響に関する基礎的研究

宇都宮大学大学院 学生会員 ○長田 一輝

宇都宮大学 正会員 池田 裕一

宇都宮大学 正会員 飯村 耕介

1. はじめに

気候変動による水害リスクの増大に備えるためには、河道を主とした整備では不十分であり、集水域から氾濫域、堤内地などの整備を含めた流域治水による適応が求められている。その中でも霞堤は伝統的な治水施設であるが、昨今の激甚な豪雨災害に対して、単に河道内の流量ピークの低減だけでなく、その際の霞堤内部及び周辺の流況を精査し、質的な安全性・持続可能性などの検討も重要である。特に霞堤内部では平面的な循環流が発生することが容易に予測できるが、それにより生ずる流れの3次元性は明らかにされていない。類似の構造を有するものとしてワンドが挙げられるが、霞堤の場合は、本堤・控堤の形状だけでなく、流入支流あるいは旧河道の存在など、地形を構成する要素が多く、ワンドよりも流況を複雑にしている。

そこで本研究では、霞堤の地形構成をシンプルに捉えて屋内実験を実施し、それが霞堤内部の流れの3次元性に与える基本的影響を明らかにすることとする。

2. 実験概要

実験には図-1に示す長さ16m、幅50cmの可変勾配型循環水路を用いた。この水路内を塩化ビニル板で縦断方向に仕切り、右側に幅25cmの主流部を作成し、水路上流端より10m地点に図-2に示すような霞堤模型を作成した。図-3に本研究で実施した3ケースの霞堤模型を示す。急流河川の霞堤を想定し、堤外地への遊水はなく霞堤内部に貯留されている流況を再現することとし、近似的に霞堤上流側を締め切った。また全国の霞堤を地形図上で確認したところ、本堤の角度は必ずしも本流に平行ではなく、やや霞堤側に傾いているものが目立ったため、あまり流況が複雑にならない程度の角度をつけることとした(case02及びcase03)。さらに霞堤の設置位置は支流合流部が多く、旧河道になっているものもあったため、それに起因する段差の影響も見ることにして、図中の着色していない部分が周囲より1cm凹むようにした(case03)。主な寸法や水路勾配、流量などの条件は表-1に示す通りである。座標系は霞堤上流端における河床地点を原点として、流下方向にx軸、鉛直上向きをy軸、左岸方向にz軸とする。

流速の測定には、KENEK社製の二成分電磁流速計を用いて、x、z方向成分を測定した。測定周波数は100Hz、測定時間は60秒間とした。測定点は、染料で流況を可視化して選定し、水平面内は不等間隔で(図-4な

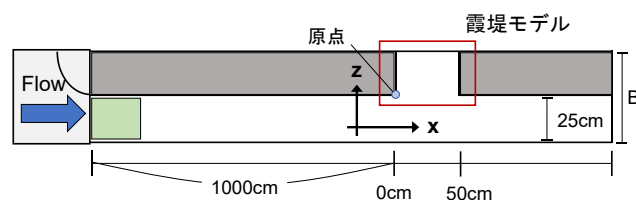


図-1 実験水路平面図

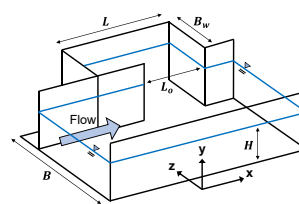


図-2 霞堤モデルの概要図

表-1 実験水理条件

$H(cm)$	$B(cm)$	$L(cm)$	$B_w(cm)$
8.4	50	50	25
$L_0(cm)$	$Q(cm^3/s)$	I_0	F_r
25	3500	1/1000	0.176

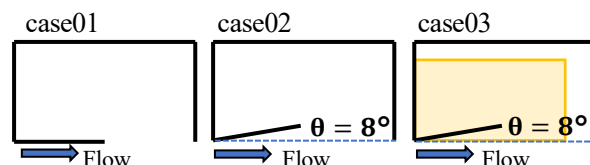


図-3 各caseにおける霞堤モデル

ど参照)、鉛直方向には6測定点で計測することとし、各caseにおいて約2500点で計測した。水深はポイントゲージで計測した。

3. 実験結果及び考察

図-4は水深平均流速(u, w)ベクトルを示している。case01は既往研究であるワンドと同様の結果を示している。主流部と霞堤内部の速度差によりせん断力が加わったことにより循環流が形成されている。しかしcase03においては霞堤下流端側を渦の中心として循環していることがわかる。そして渦の中心位置は、概ね霞堤における複断面の肩であった。

図-5 case03より、霞堤開口部付近のレイノルズ応力 $-\overline{uw}$ が強く負に働いている。開口部の中央($x=0.35\sim0.42$ m)付近で極大値をとることが見られる。これは主流部及び霞堤部の流速差が強く生じていることから乱れが生じている。case01におけるレイノルズ応力分布においては、山上らのワンド形状における既往研究と同様の結果を示している。

図-6は霞堤内部を流れる循環流を運動エネルギー(乱れエネルギー)より検討した。ただし鉛直方向成分の流速計測を行っていないため、2成分によって算出した。

キーワード 流域治水, 霞堤, 地形構成, 3次元性, 2次流

連絡先 〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学 TEL:028-689-6214

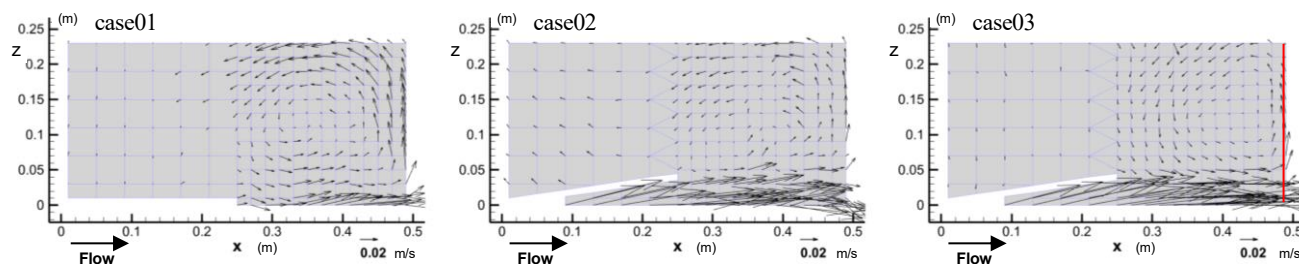


図-4 水深平均流速ベクトル

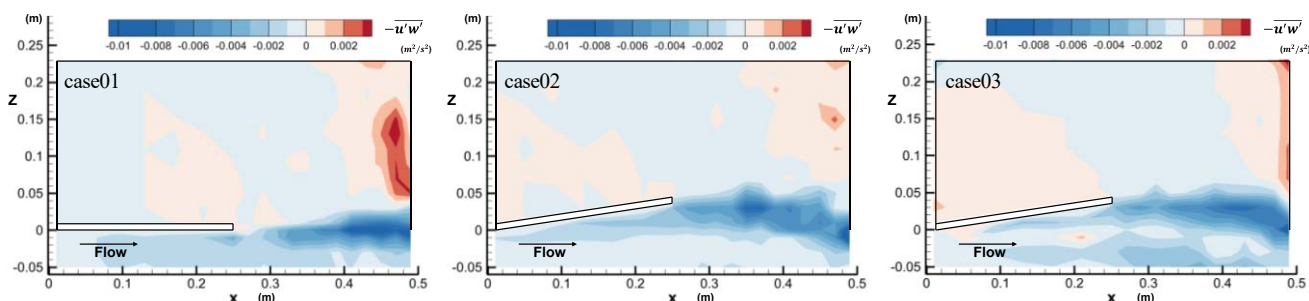


図-5 水深平均レイノルズ応力分布

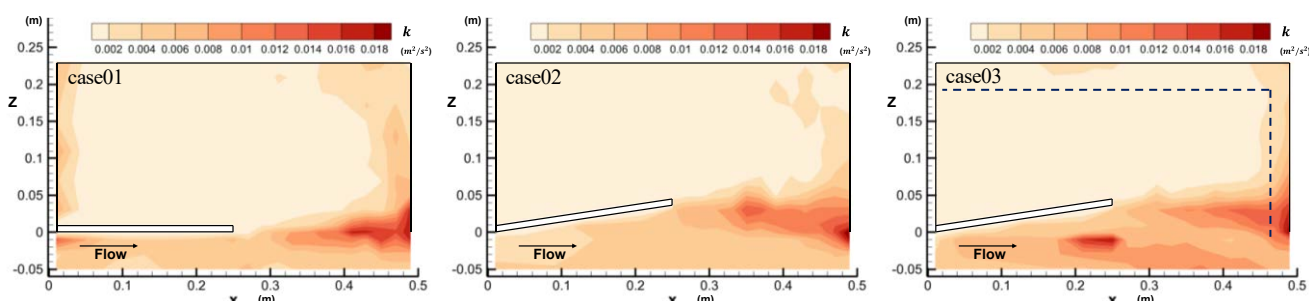


図-6 水深平均乱れエネルギー分布

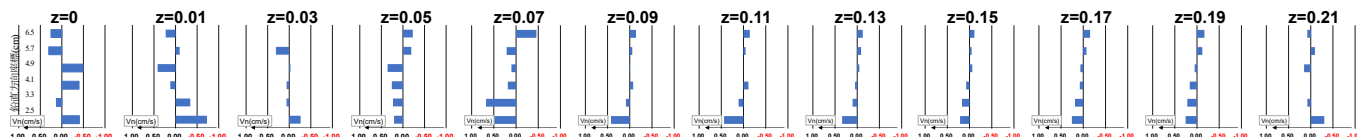


図-7 水深平均流線に対する二次流成分(case03,x=0.49m)

循環流の渦中心位置は比較的小さい分布であった。これは本堤とその延長線に沿った高速流と霞堤内部の低速流により生ずるせん断流により乱れが大きく発生しているためである。またその乱れが、流れに乗って霞堤の下流側壁面(x=0.50m)に当たり、この壁面に沿う流れに乗って乱れの大きな水塊が移動していると考察する。

case03 では旧河道に沿って高いエネルギーを維持して流れていることがわかる。これは複断面構造より、複断面の肩周辺からの斜昇流が影響していると考えられる

3). 複断面水路は、旧河道の縁から斜昇流が生じるとともに、高水敷及び低水路部の隅角部へ向かう斜降流が存在する 4). これにより、霞堤内部の旧河道域に沿って縦渦が形成されていると考えられる。

霞堤の旧河道域における実質的な 3 次元性を調べるために、水平面内の各点において、水深平均した流速ベクトルの方向（水深平均流線方向または s 方向）とそれに垂直な左向き方向（水深平均法線方向または n 方向）を求め、鉛直な y 方向の各点における流速の n 方向成分を算出して、実質的な 2 次流成分とすることにした 5).

図-7 は、旧河道の右岸壁面に近い x=0.49m（図-4 case03 の赤線部分）に沿う各点での n 方向流速成分の鉛直分布を示している。この図から、z=0.05m 付近から 2 次流が発生しており、下流になるにつれて発達していることがわかる。特に 8°に傾けた本堤の概ね延長線上である z=0.07m 地点で最も 2 次流成分が強くなっている。

3 次元性を検討した詳細については、当日報告する。

参考文献

- 1) 山上路生：開水路における長方形ワンド内の循環流構造に関する基礎的研究，土木学会論文集 B1(水工学)，Vol.70, No.1, 1-10, 2014.
- 2) 福岡捷二・渡邊明英・内田龍彦：河岸浸食面に作用するせん断応力と流れ構造の関係，水工学論文集，第 50 巻，2006.
- 3) 渡辺勝利：複断面開水路流れの斜昇流と高水敷上に形成された組織構造の相互関係，土木学論文集，第 51 巻，2007.
- 4) 石垣泰輔：複断面開水路流れの 3 次元構造に関する研究，京都大学学術情報リポジトリ KURENAI 紅，1994.
- 5) 池田裕一：砂州周縁部に繁茂する所億世が高水時の流れに与える効果に関する基礎的研究，水工学論文集，第 40 巻，1996