

樋門ゲート周辺の流れに関する数値解析的研究

Numerical study of the flow around the sluice gate

北海道大学工学部 環境社会工学科 ○学生員 齋藤 夏実 (Natsumi Saito)
 北海道大学大学院 工学研究院 正会員 田中 岳 (Gaku Tanaka)
 北海道大学大学院 工学研究院 正会員 木村 一郎 (Ichiro Kimura)

1. はじめに

河川には、堤防に埋設される樋門という河川構造物がある。普段は用水の取水や内水の排水を目的としているが、洪水時の住宅地への河川からの漏水を防ぐという重要な役割を持っている。北海道には約 5000 基もの樋門があり、その半数以上で老朽化が問題となっている。そのほとんどが人力のものであったが、2011 年 3 月に発生した東日本大震災において、樋門ゲートを操作中に操作員が死亡するなどの事故が多発した。そのため 2011 年 12 月に水防法が改正され、操作員の安全を最優先することとなった。

ゲートには、計画高水位以下における流水の作用に対して安全な構造であること、確実に開閉ができて十分な水密性を有し、流水に著しい支障を与えない構造であることが求められている。また人件費や維持管理費などのコスト削減も、北海道においては重要な課題である。これらの背景から、近年北海道では自動開閉式樋門への注目が高まっている。平成 20 年と 24 年に北海道が実施した自動開閉式ゲートの動作実験では、ゲートに想定外の振動とそれによる漏水が見られた。同実験により、ゲートの振動にはゲート設置部の排水溝内に発生する循環流と循環流に伴う振動の周期とが関係しているということも明らかになった。図 1 は矩形排水溝において、 $1.09(\text{m}^3/\text{s})$ の水を流した場合の流線をベクトルで示したも

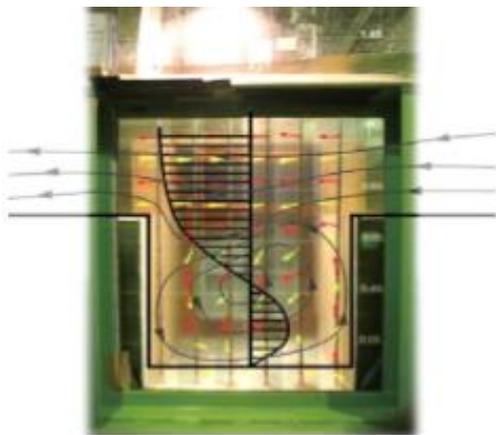


図 1:排水溝側壁勾配 0 割の流れのパターン (榎林¹⁾より引用)

のである¹⁾。また、排水溝内でひとつの大きな渦(循環流)が発生していることが確認された。この循環流と循環流に伴うの周期とゲート自体の持つ固有の振動周期が一致した場合にゲートの振動が起ってしまうということがわかった。また、同じ条件下で排水溝の側壁に 1:1 の傾斜をつけたところ、この循環流を緩和させることができ、矩形の場合に比べてゲートの振動への影響が小さかった¹⁾。排水溝内の土砂堆積など、流砂を伴う大規模な実験を行うことが困難であることから、さまざまな

条件下でのシミュレーションを自由に行うことのできる数値解析という手法を用いて研究を行うこととした。

2.研究目的

自動開閉樋門の最大の特長は、人間に危険が及ばないことであるが、無人でも確実に挙動しなければならない。平成 20 年および 24 年の実験において確認された漏水は、ゲートの正確な挙動という点で問題であると言えるだろう。本研究では、数値解析的に、ゲートの振動する原因となる循環流とその循環流に伴う振動についてと排水溝の形状との関係について考察することを目的とする。

3.研究方法

(1)数値解析手法

本研究では、河川数値シミュレーションソフト「iRIC(International River Interface Cooperative)」を用いて排水溝内の流れの計算を行う。iRIC ソフトウェアは、これまで USGS (アメリカ地質調査所) の MD-SWMS と (財)北海道河川防災研究センターで開発してきた RIC-Nays の機能を統合した河川の流れ・河床変動解析ソフトウェアである。このソフトを用いることにより、河川の流れや河床変動計算、氾濫計算などを行うことができるものである。

(2)計算条件

今回の計算に用いた水理条件を表 1 に示す。平成 20 年の実験(北海道実施)と同様の流量、高水敷の高さ、粗度を用いて計算した。横断方向の境界条件は非周期境界条件とし、下流端水位はマンニング則を用いて計算した。また、ゲートは現段階では設置されていないとし、排水溝の形状のみを再現した。

ここで、主流から取水口(排水口)に繋がる水路は十分に長いと考え、主流方向からの排水溝への水の流入による影響はないものとする。排水溝の側壁勾配 1 割の台形、さらに側壁勾配 2 割の台形の三つのパターンを計算した。側壁傾斜 1 割の台形排水溝において矩形のものより循環流が緩和したという報告^{2,3)}から、より傾斜を緩やかにすればさらなる循環流の緩和が期待できると予想し、傾斜 2 割の台形排水溝について計算を行おうと考えたためである。水面形状が安定してから十分に経過した状態での流速分布を示すベクトル図を図 1,2 および 3 に示す。

4.計算結果と考察

すべてのパターンにおいて、確かに循環流を生じているのが確認できる。排水溝の下部では下流から上流に向かう流れ(+流れ)、上部では上流から下流へ向かう流れ(+流れ)が確認できる。また、高水敷を流れる速い流れが排水溝にさしかかった部分で剥離し、排水溝内部にひとつ

表 1:計算条件

| | <case1> | <case2> | <case3> |
|-----------------------|----------|----------|----------|
| 計算時間(s) | 100 | 100 | 100 |
| 水路幅(m) | 1 | 1 | 1 |
| 格子数(x,y,z) | 90,10,14 | 90,10,14 | 90,10,15 |
| 水路長(m) | 9 | 9 | 9 |
| 流量(m ³ /s) | 1.09 | 1.09 | 1.09 |
| 水路勾配 | 0.005 | 0.005 | 0.005 |
| 粗度 | 0.012 | 0.012 | 0.012 |
| 排水溝側壁の勾配 | なし | 1 | 2 |

の循環流が生じている。3つのパターンを比較してみると、図1の矩形の場合には排水溝内に広がる大きな循環流が見られたのに対し、傾斜1割、2割と幅が広がるにつれて小さくなっている。今回の計算条件では傾斜2割においては、水路内のほとんどの場所において乱れは見られず、排水溝下部にわずかな循環流が見られる程度である。循環流は上流側から流れてきた水が排水溝内部の側壁や床に衝突を繰り返すことにより渦を形成するものである。図2および図3のように側壁に傾斜をつけることが排水溝内の循環流の発生を抑える効果があるということが先行研究²⁾と同様にわかった。

今回の計算では、循環流を可視化することで、その全体像を見ることができた。また、循環流に関して実験(北海道実施)に見られる定性的な形状を良く再現することができたと言える。しかし、循環流と循環流に伴う振動については明らかにすることができていない。今回の計算は格子を先行研究²⁾より大きくとったことにより、高水敷付近の剥離に関して十分に再現されていなかったと考えられる。

5.まとめ

今回の数値シミュレーションの結果は計算ではゲートがない前提であるなどの条件の違いから実験(北海道実施)との厳密な比較はできない。同様の循環流を生じ、また、矩形排水溝より台形排水溝の流れのほうが排水溝端部における剥離が小さい点、排水溝内部において両形状ともに振動が確認されたという点などで実験結果と定性的な一致は見られたと言える。これはiRICというシミュレーションソフトが水路実験を再現する上で極めて有用と言ってよい、つまり再現性が確認できたと言ってよい。さらに傾斜の緩やかな排水溝を想定して計算したところ循環流を減少させることができた。実験では扱われなかったが、先行研究²⁾と同様な傾向が確認された。今後はこれらの予想を確かめるとともに、新たな考察を行っていきたい。

参考文献

- 1) 樽林基弘:北海道における自動開閉樋門の取り組みについて
- 2) 瀬津家久・山本義暢・鬼束幸樹:LESによるキャビティせん断乱流構造の数値シミュレーション
- 3) 瀬津家久・山本義暢:開水路キャビティ流れの乱流構造に関する研究

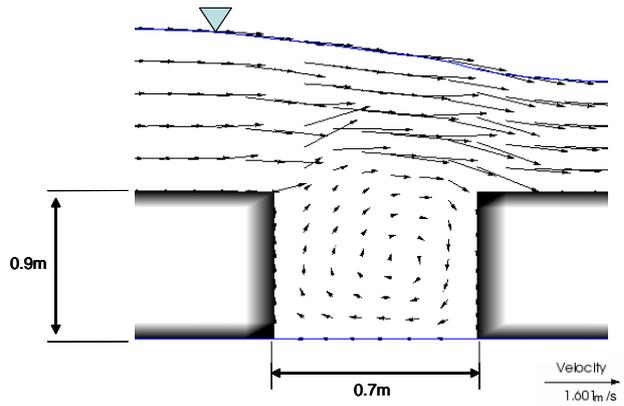


図 2:矩形排水溝内の流速分布

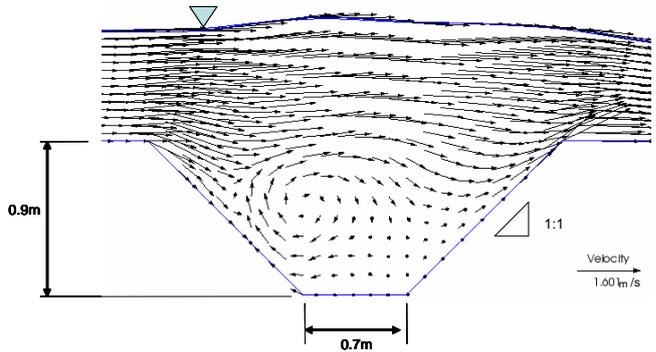


図 3:傾斜 1 割台形排水溝内の流速分布

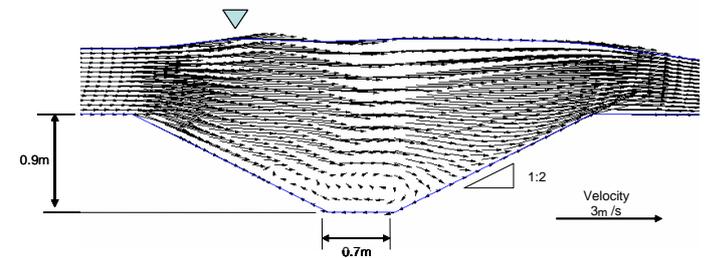


図 4:傾斜 2 割台形排水溝内の流速分布