複断面開水路流れに生じる大規模水平渦挙動の決定要因について

中央大学大学院 正会員 〇本永 良樹 中央大学理工学部 7ェロー会員 山田 正

1. はじめに

著者ら¹はこれまでに複断面開水路流れに生じる大規模水平渦の挙動に ついて、2次元不定流モデルを用いて研究を行ってきた.その研究におい て、不定流計算の基礎式として決定論的な基礎式を用いているにもかかわ らず、発生する大規模水平渦の挙動には周期的挙動と非周期的挙動がある ことがわかった.本研究では、これらの大規模水平渦の挙動の違いを決定 する要因について調べる.

2. 研究内容

大規模水平渦の挙動に違いが生じる要因として,発生する水平渦のスケールと当該する複断面開水路の幅スケールの関係により水平渦の動きの自由度が決まり,それによって水平渦の挙動が決まると推定した.

このことを検証するために, 表-1 に示す様々なスケールの複断面開水路について, 低水路・高水敷粗度係数の組み合わせを変化させて 2 次元不定流計算を実施した. 基礎式として,運動方程式と連続式を用いた.表-1 中の各記号の説明を図-1 に示 す.図-2 は表-1 の各ケースの横断面形状特性のパラメータ bmc/B と bmc/h の関係 である.図中,実線で囲まれた部分は福岡ら²⁾が調べた我が国の主要な河川におけ る bmc/B と bmc/h の分布範囲である.表-1 の各ケースについての 2 次元不定流計算 を実施することで,我が国の実際の河川を想定した検討が行えると言える.

大規模水平渦のスケールを表すパラメータとして水平渦の波長λを調べた. ここで水平渦波長とは流下方向に並んだ水平渦の中心間の距離とする. 著者らの既存の研究¹⁾で示したように,低水路・高水敷境界部において水深,横断方向流速の縦断分布を取ると,水平渦中心位置において水深が極小値を取り,また横断方向流速の流向が高水敷向きから低水路向きへ逆転する.この結果より, 基本的には低水路・高水敷境界部の横断方向流速の縦断分布について,ある区間内において,横断方向流速が高水敷向きから低水路向きへ変わった地点間隔の平均値を発生した水平渦の波長λと考える.

3. 研究結果

3-1. 大規模水平渦スケールの決定要因: 図→3 は片側複断面開水路流れにおける大規模水平渦の波長 λ と,低水路・高水敷間の流速差 ∠Uの関係である.

表-1 計算ケース

ケース	全幅[m] B	低水路幅[m] bmc	高水敷幅[m] bfp	形状
1	100	50	50	片側
2	200	100	100	片側
3	45	15	15	両側
4	60	30	15	両側
5	90	30	30	両側
6	90	60	15	両側
7	120	90	15	両側
8	150	120	15	両側
9	180	90	45	両側
10	200	150	25	両側
11	250	150	50	両側
12	350	210	70	両側
13	370	150	110	両側
14	500	300	100	両側

※高水敷高さは3mで統一した.



図-1 各記号の説明



図-2 計算ケースの断面形状特性

片側複断面開水路の場合,同一低水路幅,同一低水路粗度係数のケースについてまとめると、 $\angle U$ が大きいほどんが長い傾向が見られる. 図-4 は両側複断面開水路流れにおけるんと $\angle U$ の関係である. 両側複断面開水路の場合,同一低水路・高水敷幅のケースについてまとめると、高水敷幅が狭いケースについては $\angle U$ が大きくなってもんの成長が抑制されるケースもあるが、概ね $\angle U$ が大きいほどんも大きくなる傾向が見られる. んと $\angle U$ の関係については池田ら³が一列の渦列について線形不安定解析を施して導いた水平渦の理論発生周期からも導かれる. 池田らの導いた水平渦の理論発生周期は $T = 2\pi B \sqrt{\nu} / \omega_{max} \bar{u}_{max}$ となるが、これを変形すると次式のようになる.

キーワード 複断面開水路,大規模水平渦,水平渦のスケール 連絡先 〒203-0051 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学大学院 TEL 03-3817-1805 E-mail: <u>ymotonaga@civil.chuo-u.ac.jp</u>

-7-

$$\lambda = c_r T = c_r \times \frac{2\pi}{\omega_{\max} U_{mc}} \times \frac{\gamma}{n_{mc}} \sqrt{\frac{H^{7/3}}{2g}} \times \frac{1+J}{U_{*mc}} \Delta U$$

このように、λと_Uが比例関係にあることが説明できる.実際には_Uにかかる係数は定数ではなく、λは_U以外の要因にも影響を受ける.(示した式中におけるλと_U以外のパラメータの意味については、説明を省略する.)

3-2. 水平渦スケールと水平渦挙動 の関係:図-3,図-4 では、水平渦の挙 動が周期的な場合には○、非周期的な 場合には△でデータをプロットしてあ る.図-3を見ると、片側複断面開水路 では、んが長い時に水平渦は周期的な 挙動、短い時に非周期的な挙動を示し ている.んが長いと開水路側壁の影響 により水平渦の動きが抑えられるため 周期的挙動を示し、んが短いと開水路 側壁の影響が小さくなるので非周期的





挙動を示すと考えられる. 図−5 は図−4 に示したデータの中から,同一低水路・ 高水敷幅のケースについて, <u>/</u>U を変えることで周期的挙動, 非周期的挙動の 両方の水平渦が発生したものを抽出した図である. 両側複断面開水路において

図-4 λ と <u>/</u> U の関係 (両側複断面開水路の場合)

発生する水平渦も λ が長いと周期的な挙動を,短いと非周期的な挙動を示す. これらは λ の大きさに応じて,片側複断 面開水路の場合と同様に開水路側壁の影響があるとともに,両側複断面開水路の場合には並列する渦列同士の干渉も影 響すると考えられる. 両側複断面開水路では並列する渦列同士が交互にかみ合う千鳥状の構造になった場合に周期的挙 動となり,この場合, \angle Uが増大しても λ は変化しない. これらの結果から考えると,両側複断面開水路については λ と低水路幅・高水敷幅の組み合わせの関係によって水平渦の挙動が決まる. **図-6**は両側複断面開水路流れにおける(λ /低水路幅 bmc)と(λ /高水敷幅 bfp)との関係である. これより両側複断面開水路においては, λ が低水路幅 bmc の約3.7倍以上に発達した時に水平渦は周期的な挙動を示し,それ以下では非周期的な挙動を示すことがわかる.

4. まとめ

本研究において得られた知見 を以下にまとめる.1)複断面開水 路流れにおいて,発生する大規模 水平渦の波長は基本的には低水 路・高水敷間流速差に比例する. 2)水平渦波長が長い場合,水路側 壁や向かい合う渦列の影響により 水平渦は周期的挙動を示す.水平 渦波長が短いとそれらの影響がな いため非周期的な挙動を示す.3) 本研究においては,両側複断面開



水路流れでは水平渦波長が低水路幅の約3.7倍以上に発達すると周期的挙動となる.参考文献:1)武内・本永・海野・山田: 複断面開水路流れにお

図-6 λ/bmc と λ/bfp <u>/</u>U の関係 (両側複断面開水路の場合)

ける大規模水平渦の発生と発達,水工学論文集,第47巻,pp.475-480,2003.2) 福岡・藤田: 複断面河道の抵抗予測と 河道計画への応用,土木学会論文集,第411号/II-12,pp.63-72,1989.3)池田・村山・空閑: 複断面開水路水平渦の安 定性とその3次元構造,土木学会論文集,No.509/II-30,pp.131-142,1995.