

複断面開水路に生じる大規模水平渦の周期性と断面形状要素の関係

中央大学理工学部 学生会員 ○銭 潮潮
中央大学理工学部 フェロー会員 山田 正

中央大学大学院 学生会員 樊 建強
中央大学大学院 学生会員 岡部 真人

1. はじめに

複断面河道は日本の河川の中流部に多く見られる。図-1のように、洪水が発生した際、高水敷に水が乗り、複断面開水路流れとなる。複断面開水路流れでは、低水路流れと高水敷上流れの速度差に起因し、高水敷・低水路境界部でせん断応力が発生し、横断方向に流速差を持つ流れ場が生じ、低水路・高水敷境界部で大規模水平渦が発生する。複断面開水路の大規模水平渦に関して、武内ら¹⁾の論文によると、大規模水平渦には周期的な渦と非周期的な渦の2種類がある。これらに影響を与える要因として、全水路幅、低水路幅、高水敷幅、高水敷高さ、水深といった複断面開水路の断面形状要素が挙げられる。

そこで本研究では、複断面水路の形状要素と複断面水路の大規模水平渦（以下渦と称する）の周期性との関係性を評価した。

2. 研究方法

洪水流の再現計算を行うにあたり、基礎式として二次元不定流の運動方程式と連続式を用いた。

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial(uM)}{\partial x} + \frac{\partial(vM)}{\partial y} = -gh \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{gn^2 |M| \sqrt{M^2 + N^2}}{h^{7/3}} + \varepsilon \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} \right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial(uN)}{\partial x} + \frac{\partial(vN)}{\partial y} = -gh \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{gn^2 |N| \sqrt{M^2 + N^2}}{h^{7/3}} + \varepsilon \left(\frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

ここに、 t :時間[sec], x :流下方向[m], M, N : x, y 方向の流量 flux[m²/s], u, v : x, y 方向流速[m/s], g :重力加速度[m/s²], h :水深[m], η :水位[m], n :Manning の粗度係数 [s·m^{-1/3}], ε ($=ku^*h/6$):水平方向渦動粘性係数[m²/s], k :カルマン定数($=0.4$), u^* :摩擦速度[m/s]である。

対象とした複断面形状は両側複断面形状とし、図-1のような高水敷高さは3[m]で、水路勾配は1/1000とした。底面粗度係数は、低水路で0.015[s·m^{-1/3}], 高水敷上で0.1[s·m^{-1/3}]とした。

3. 数値計算

数値計算の際には、未知数である M, N, h を交互に

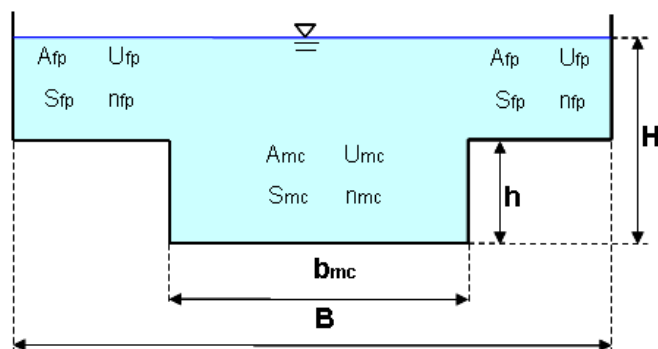


図-1 複断面河道の横断面形状図

配置し、leap-frog 法を用いて解いた。境界条件は開水路上流端で流量一定、下流端で水位一定とした。境界条件に与える値は断面分割法（井田法）²⁾により算出した。

複断面開水路の形状要素である全川幅、低水路幅と高水敷幅をパラメータとして変化させ、二次元不定流計算結果を用いて、渦の周期性と水路の形状との関係性を評価した。

4. 周期的な渦について

周期的な渦と非周期的な渦の判別方法として、基本的には境界部付近の主流速ベクトル分布、水位コンター図、高水敷・低水路境界部縦断面水深分布図により判断する。図-2 (a), (b), (c)はそれぞれ水路上流端から3500[m]～4000[m]区間における主流速ベクトル図、水位コンター図と水路左側高水敷・低水路境界部縦断面水深図である。図面から、渦が発生し、流速ベクトル分布、水位コンターと高水敷・低水路境界部縦断面の水深が規則的に変化していることが分かる。これより、周期的な渦であると判断する。左岸側の境界部で発生した渦は逆時計周り、右岸側では順時計周りの挙動を呈している。一方、図-3の場合は、渦が見られるが、流速ベクトル分布図と水位コンター図から渦の大きさや渦間の間隔が明らかに異なり、高水敷・低水路境界部縦断面の水深も非周期的に変化しているため、非周期的な渦であると判断する。

キーワード 二次元不定流, 複断面開水路, 大規模水平渦, 周期性

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 TEL 03-3817-1805 E-mail: chouchou-sen@civil.chuo-u.ac.jp

5. 水路の形状と渦の周期性

図-4は低水路水深、高水敷高さ、低水路幅、全水路幅の関係図である。図-4(a)

から低水路幅/

高水敷高さが

20以下で周期的な挙動を示

すが、これが

20を超えると、

渦の周期的な

挙動が完全に

見られなくな

る。本論文では

この値を渦の周

期性に関する形状臨界値(P_c)と定義する。図-4(b)

は、図-4(a)の河道形状条件下で、水深を増やした

場合、渦の挙動を示したものである。この場合でも

P_c が20以下でしか周期的な挙動が見られなく、水深

が渦の周期性に影響を与えないことが言える。図-4

(c)は、図-4(a)の河道形状条件下で、は河道全幅と

渦の周期性との関係図である。この図より渦の周期性

は低水路幅が全幅を占める割合と関係なく渦の周期性

的挙動は P_c が20以下でしか見られない。図-4

(d)は、図-4(a)の河道形状条件下で、高水敷の粗度

係数を変えずに、低水路の粗度係数を0.015から0.03

まで増やした場合、渦の周期的挙動も P_c が20以下

でしか見られない。

6. まとめ

本研究により得られた知見を以下にまとめる。

1) 決定論的な基礎式を用いているにもかかわらず、大規模水平渦の挙動の特徴として、周期的な場合と非周期的な場合を再現することができた。

2) 複断面開水路における大規模水平渦の周期性挙動が渦の周期性に関する形状臨界値(P_c)に関係していることが分かりました。 P_c が20を超えると渦の周期的な挙動が見られなくなる。

キーワード 二次元不定流, 複断面開水路, 大規模水平渦, 周期性

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 TEL 03-3817-1805

E-mail: chouchou-sen@civil.chuo-u.ac.jp

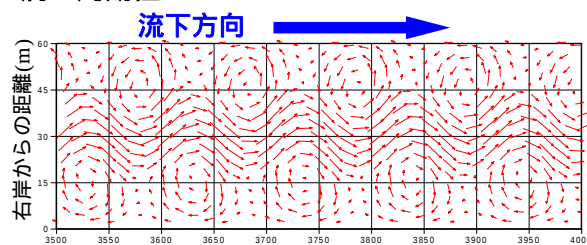


図-2(a) 上流から 3500 ~ 4000[m]区間の流速ベクトル

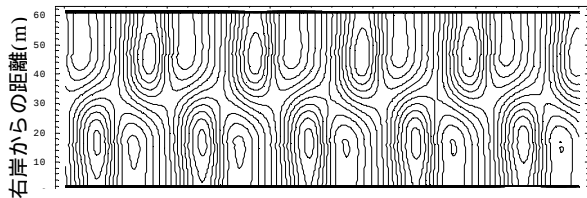


図-2(b) 上流から 3500 ~ 4000[m]区間の水位コンター

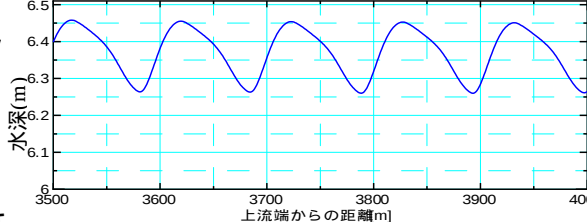


図-2(c) 水路高水敷・低水路境界部縦断面水深

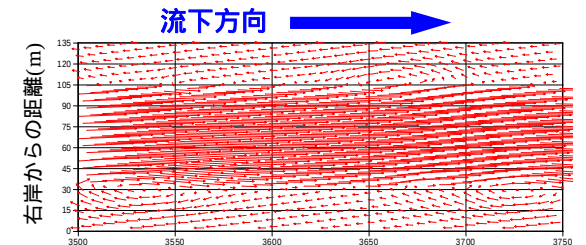


図-3(a) 上流から 3500 ~ 4000[m]区間の流速ベクトル

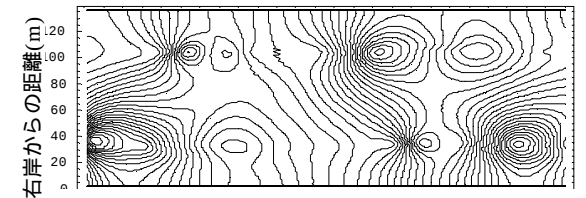


図-3(b) 上流から 3500 ~ 4000[m]区間の水位コンター

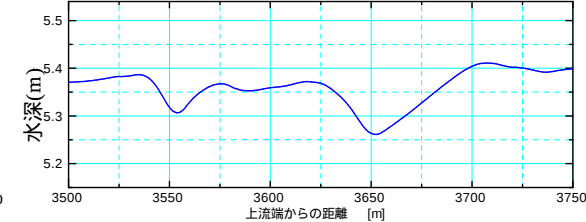


図-3(c) 水路高水敷・低水路境界部縦断面水深

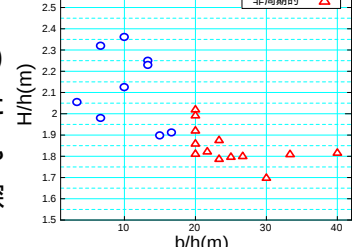


図-4(a) 低水路幅と水深との関係

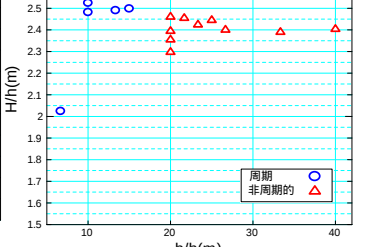


図-4(b) 低水路幅と水深との関係

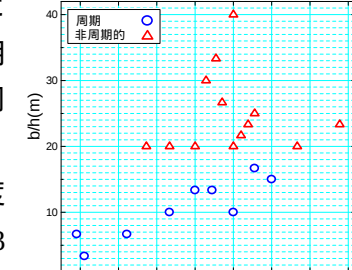


図-4(c) 低水路幅と全幅との関係

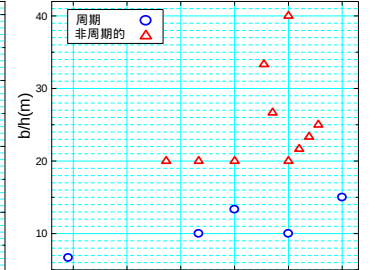


図-4(d) 低水路幅と全幅との関係

参考文献:

- 1) 武内・本永・海野・山田: 複断面開水路流れにおける大規模水平渦の発生と発達, 土木学会水工学論文集, Vol. 47, pp. 475-480, 2003
- 2) 福岡 捷二: 洪水の水理と河道の設計法, 森北出版, 2005
- 3) 池田・空閑: 複断面開水路流れに発生する大規模水平組織渦の安定性に関する実験的研究, 水工学論文集, 第 40 巻, pp. 705-710, 1996