

## 複断面開水路における大規模水平渦の特性と流れに対する抵抗

|         |        |       |
|---------|--------|-------|
| 中央大学    | 学生員    | ○銭 潮潮 |
| 国際航業(株) | 非会員    | 樊 建強  |
| 中央大学    | 正会員    | 本永 良樹 |
| 中央大学    | フェロー会員 | 山田 正  |

## 1. はじめに

複断面河道が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、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<sup>1)</sup>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、断面形状要素(全水路幅、低水路幅、高水敷幅、高水敷高さ、水深)、流速が挙げられる。

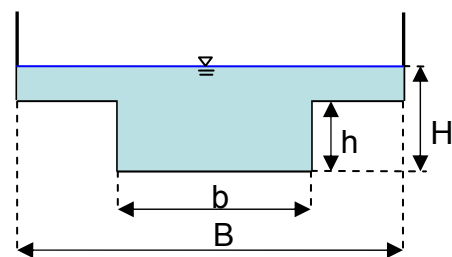


図-1 複断面河道の横断

本研究では、複断面開水路の断面形状要素と複断面開水路の大規模水平渦(以下渦と称する)の周期特性との関係を考察すると共に渦の有無により流れに対する抵抗を評価した。

## 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。図-1のように、 $h=3[m]$ で、水路勾配は $1/1000$ とした。河床粗度係数は、高水敷で $0.1[s \cdot m^{-1/3}]$ 、低水路で $0.015[s \cdot m^{-1/3}]$ と $0.03[s \cdot m^{-1/3}]$ の2パターンとした。境界条件は水路上流端で流量一定、下流端で水位一定とし、未知数 $x$ 方向の流量ラックス $M$ 、 $y$ 方向の流量ラックス $N$ 、水深 $h$ をleap-frog法で配置し、計算した。

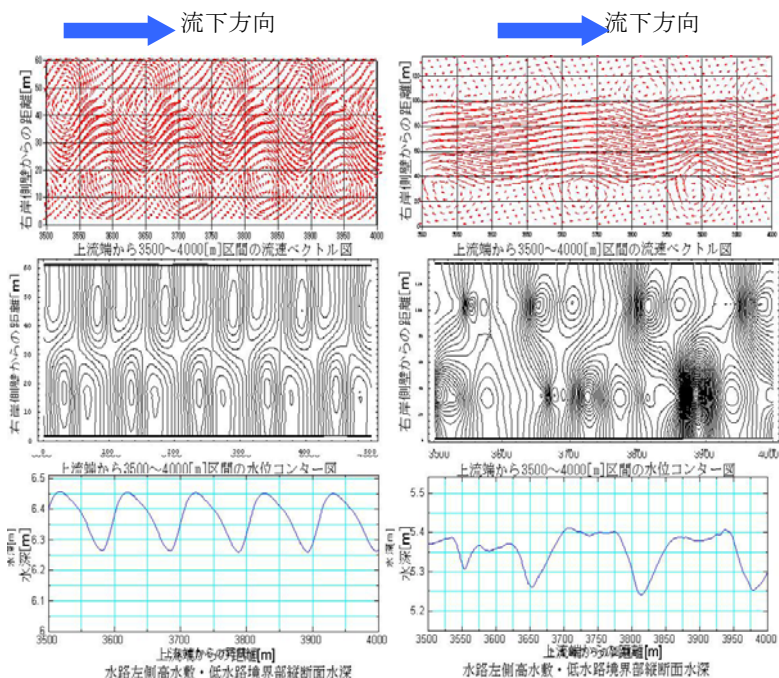
## 3. 数値計算結果

## 3-1 渦の周期性

図-2(a)により、流速ベクトル分布、水位コンター図、高水敷・低水路境界部水深が周期的に変化しているのが分かる。これより、周期的な渦であると判断する。一方、図-2(b)から前述三者ともに規則的な変化が見られなく、非周期的な渦であると判断する。

## 3-2 水路の形状と渦の周期性

図-3(a)は平均水深/高水敷高と低水路幅/高水敷高の関係図である。低水路幅/高水敷高が20以下の場合のみ周期的な渦が見られる。図-3(b)は図-3(a)の条件下で、流量のみを増加



させた場合、低水路幅/高水敷高が20以下の場合のみ周期的な渦が見られる。図-3(c)、(d)は全水路幅、低水路粗度係数と渦の周期性の関係図である。図-3(c)と図-3(d)での低水路粗度係数がそれぞれ0.015と0.03に設定し、他の条件が全て同様である。結果、低水路/高水敷高が20以下の場合のみ周期的な渦が見られる。

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, 抵抗, 境界混合係数

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学大学院理工学研究科土木工学専攻 TEL 03-3817-1805

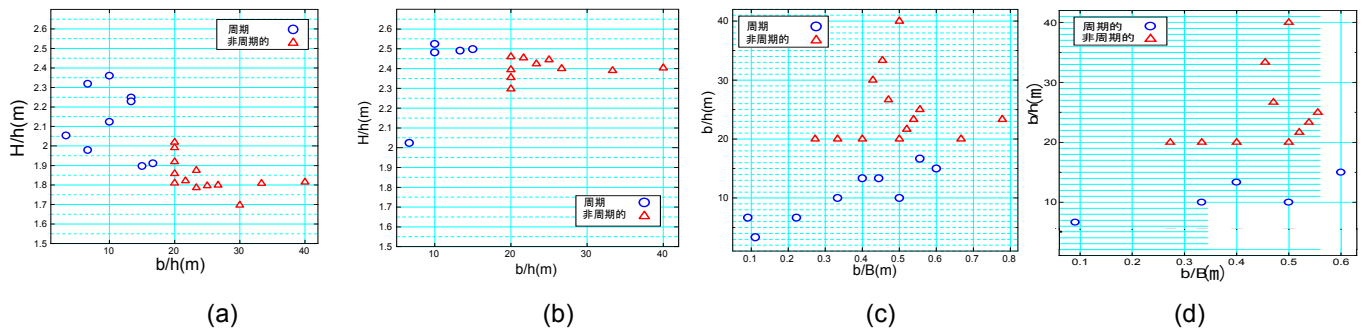


図-3 渦を発生した複断面開水路の水路形状と渦の挙動

### 3-3 渦が流れに対する抵抗

図-4に断面分割法により計算したH-Q関係と二次元不定流計算により算出したH-Q関係を示す。本計算では同一水路を使い、流量のみを変化させ、流量を600 [m<sup>3</sup>/s]以上に増加させた場合、渦を考慮した二次元不定流計算と渦を考慮していない断面分割法計算による水深の差が生じた。ここで渦が発生し、流れに対する抵抗が生じ、河道の流下能力を低下させたと考え、更に、流量が大きくなるにつれ、水深の差が大きくなる。

### 3-4 境界混合係数 f について

渦の発生する原因として、低水路と高水敷の境界部で生じるせん断力  $\tau_{as}$  の作用があると仮定する。このせん断力が流速差の2乗と流体の密度との積に比例することが石井らの研究により明らかにされている。

$$\tau_{as} = \rho f (u_{mc} - u_{fp})^2$$

$$\frac{\rho g n_{mc}^2 u_{mc}^2}{R_{mc}^{1/3}} \left( \frac{b}{2} + h \right) + \rho f (u_{mc} - u_{fp})^2 (H - h) = \rho g H \frac{b}{2} I_b$$

$$\frac{\rho g n_{fp}^2 u_{fp}^2}{R_{fp}^{1/3}} \left( \frac{B-b}{2} + h \right) - \rho f (u_{mc} - u_{fp})^2 (H - h) = \rho g (H - h) \frac{B-b}{2} I_b$$

f は低水路と高水敷との境界部での混合の激しさを表す境界混合係数である。図-5は二次元不定流計算により算出した流速分布と水深から逆算した f の値である。高水敷の水深が1[m]以下では、渦は小さく、f の値は小さい。高水敷の水深が1[m]以上になると、f の値が流量の増加と共に急激に大きくなり、更に流量が800 [m<sup>3</sup>/s]以上になる f の変化が非常に小さく、ほぼ一定になる。

### 4. まとめ

- 1) 決定論的な基礎式を用いて、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現した。
- 2) 複断面開水路の低水路幅と高水敷高の比が20以下でのみ、周期的な渦が見られる。
- 3) 大規模水平渦が流れに与える影響は、流量があう一定値を超えると大規模水平渦が発生し、水深が急上昇することがわかった。境界混合係数 f の値は流量がある値になるとピークを迎え、その後流量が増加してもほぼ一定になることがわかった。

参考文献 1)武内 慶了, 本永 良樹, 海野 修司, 山田 正: 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

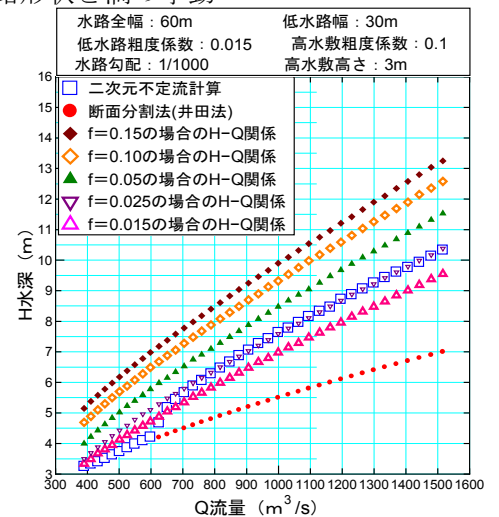


図-4 断面分割法によるH-Q関係と本数値計算法によるH-Q関係の比較

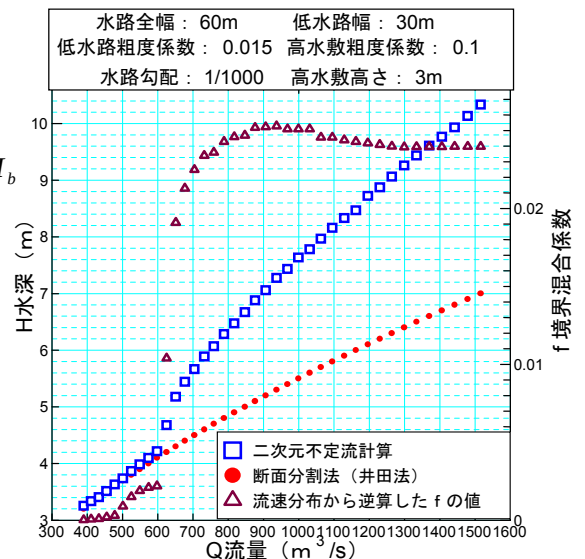


図-5 境界混合係数と流量の関係