

# 複断面開水路流れに発生する水平渦とそのスペクトル特性に関する研究

中央大学大学院 学生員 本永 良樹 中央大学 正会員 岡田 将治  
 国土交通省 正会員 武内 慶了 中央大学 正会員 山田 正

## 1. 目的

実際の河川に多くみられる低水路と高水敷をもつ複断面開水路において、低水路と高水敷の境界部(以下、境界部とする)ではせん断応力の差により横断方向に流速差が生じ、これにより大規模水平渦が発生する。この水平渦は横断方向の運動量輸送や物質輸送に大きな影響を与える。本論文では直線複断面水路における流れを2次元数値計算により表現し、境界部で発生する水平渦のスペクトル特性について述べる。

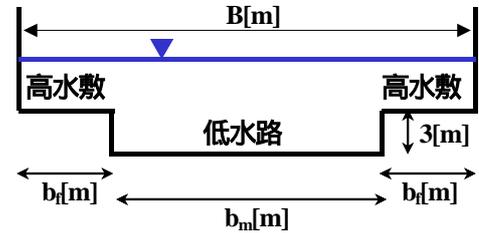


図-1 計算に用いた複断面開水路横断面図  
 表-1 各ケースにおける計算条件

	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
水路幅 \$B\$	45m	90m	120m	210m
低水路幅 \$b_m\$	15m	60m	30m	90m
高水敷幅 \$b_r\$	15m	15m	45m	60m

## 2. 研究内容

図-1は2次元数値計算に用いた複断面直線水路の横断面図である。計算を行った条件を表-1に示す。いずれのケースにおいても開水路全長は3000m,水路勾配1/1000,低水路粗度係数 \$n\_m = 0.015\$,高水敷粗度係数 \$n\_f = 0.1\$とした。解析に用いた基礎式は2次元不定流の基本式である運動方程式と連続式である。上流端境界条件には流量一定,下流端境界条件には自由透過条件として式(1)を与えた。

$$\frac{\partial}{\partial t} \begin{pmatrix} h \\ M \\ N \end{pmatrix} + \frac{M}{h} \frac{\partial}{\partial x} \begin{pmatrix} h \\ M \\ N \end{pmatrix} = 0 \quad (1)$$

ここに, \$t\$: 時間[sec], \$x, y\$: 流下方向, 横断方向 [m], \$h\$: 水深[m], \$M, N\$: \$x, y\$ 方向流量フラックス[m<sup>2</sup>/s]である。また,下流端境界条件の影響が及ばないほど上流側である0~2000m区間において水平渦の挙動を調べた。

## 3. 解析結果

### (1) スペクトルの特性について

図-2は水位コンター図である。図中コンター線が密になっている部分が大規模水平渦の中心を表す。図-2より境界部に70~100mのスケールをもつ大規模な水平渦が発生していることがわかる。図-3は右岸側境界部における横断方向流速の縦断方向分布である。図-4は右岸側境界部(上流端から1500m流下した地点)における横断方向流速の時系列である。図-3,図-4より決定論的な基礎式を用いてい

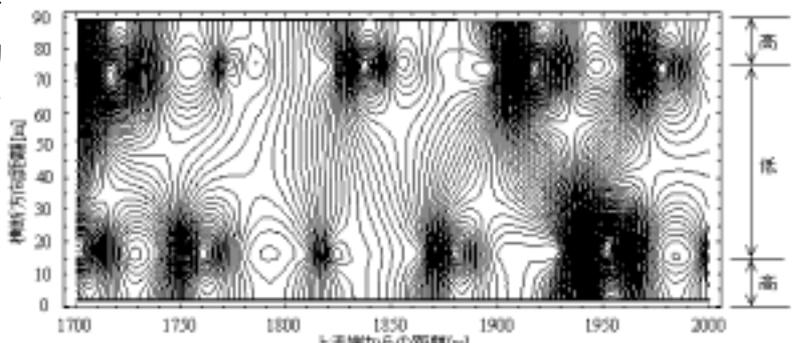


図-2 水位コンター図(ケース2)  
 (図中,コンター線が密になっている部分が水平渦の中心である。)

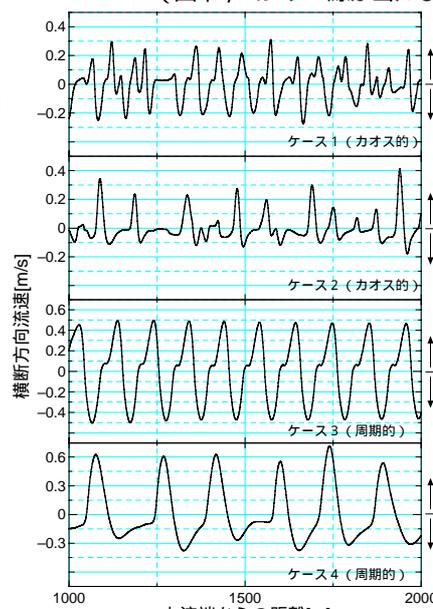


図-3 右岸側境界部における横断方向流速の縦断分布

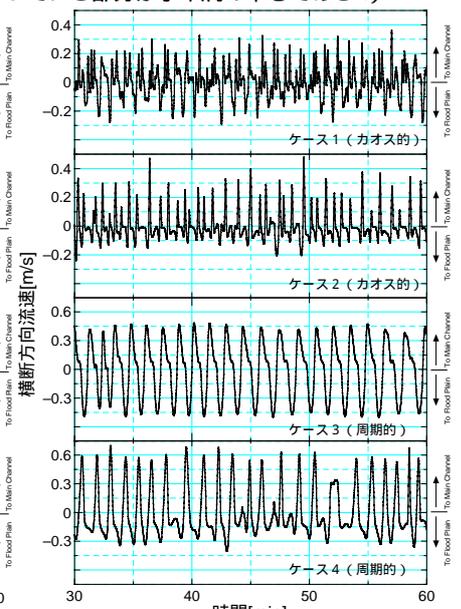


図-4 右岸側境界部における横断方向流速の時系列

キーワード: 複断面開水路, 大規模水平渦, 2次元不定流, 連続スペクトル, 線スペクトル, テイラーの凍結乱流仮説

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学大学院 TEL03-3817-1805 E-mail:m-yoshiki@civil.chu-u.ac.jp

るにもかかわらず、水平滑の挙動には周期的な場合とカオス的な場合があるのがわかる。

図-5 は横断方向流速縦断方向分布のスペクトルである。図-6 は横断方向流速時系列のスペクトルである。スペクトル形状を見ると水平滑の挙動が周期的な場合には卓越する成分が離散的に分布する線スペクトルであった。

これに対しカオス的な場合には卓越するスペクトル成分が見られず、スペクトル成分がほぼ連続的に分布する連続スペクトルとなった。

### (2) テイラーの凍結乱流の仮説との比較

上記のスペクトル解析結果を用いて水平滑の挙動が周期的である場合とカオス的である場合のそれぞれの計算結果について、テイラーの凍結乱流の仮説(Taylor's hypothesis of frozen turbulence)が成り立つかどうかを調べる。波長を  $L$ 、渦中心の流下速度を  $c$ 、周期を  $T$  とすると、これら3つの関係は式(2)のように表される。

$$L = cT \quad (2)$$

(3),(4)式を用いて、(1)において求めた各ケースにおける卓越波数  $k$ 、卓越周波数  $f$  より卓越波長  $L$ 、卓越周期  $T$  が求まる。

$$L = 2\pi/k \quad (3) \quad T = 1/f \quad (4)$$

この卓越波長  $L$ 、卓越周期  $T$  を式(2)に代入して、渦中心の流下速度  $c$  が求まる。図-7 は境界部における流下方向流速の縦断方向分布である。

これより各ケースにおける流下方向に平均した流下方向流速  $\bar{U}$  が求まる。表-2 に各ケースにおける水平滑の挙動と  $c/\bar{U}$  をまとめた。ケース1を除く全てのケースにおいてテイラー

の凍結乱流の仮定が成り立っているのがわかる。ケース1においてテイラーの凍結乱流仮説が成立しないのは、水路幅が45mと狭いため渦の流下速度が両側の側壁の影響を受けて遅くなるためと考えられる。

4. まとめ 本研究により得られた知見を以下にまとめる。1)複断面境界部にて発生する渦には周期的挙動を示すものとカオス的挙動を示すものがある。2)水平滑の挙動が周期的な場合には、その渦が持つスペクトルは離散スペクトルをとる。挙動がカオス的な場合にはスペクトルは連続スペクトルをとる。3)水路幅が極端に狭い場合を除き、渦の挙動が周期的・カオス的いずれの場合においてもテイラーの凍結乱流仮説が成り立つ。参考文献：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滑の発生と発達に関する研究，水工学論文集，第47巻，pp.475-480，2003。

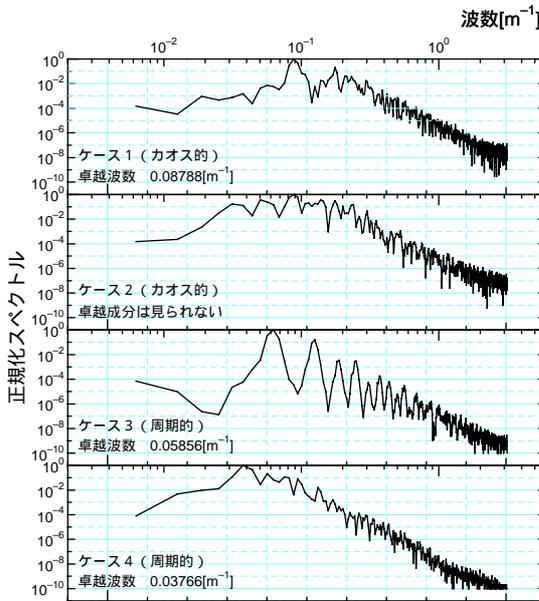


図-5 横断方向流速縦断方向分布のスペクトル

〔スペクトル分布は水平滑の挙動がカオス的な場合には連続スペクトルを示すが、周期的な場合には線スペクトルを示す。〕

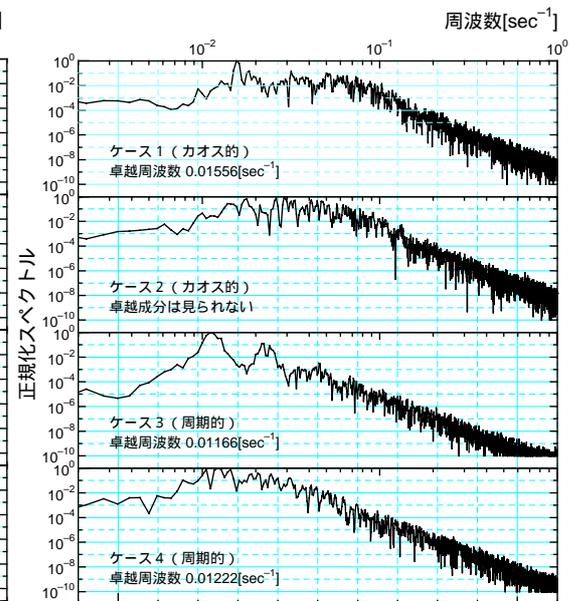


図-6 横断方向流速時系列のスペクトル

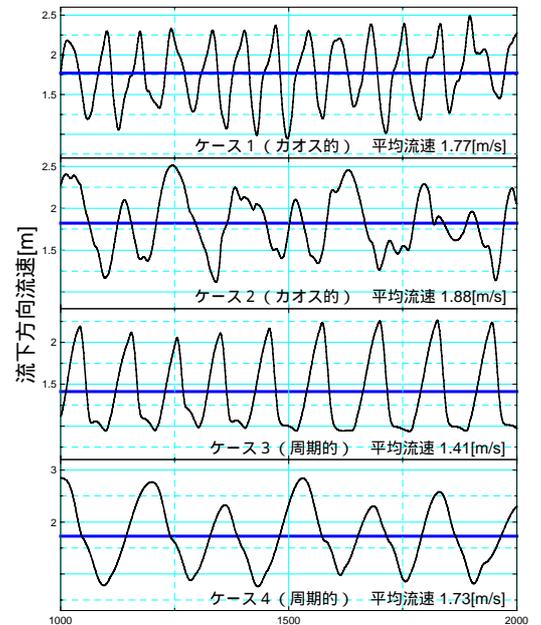


図-7 境界部における流下方向流速の縦断方向分布 (图中、青線は平均流速を表す。)

表-2 各ケースにおけるテイラーの凍結乱流仮説の確認

	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
水平滑の挙動	カオス的	カオス的	周期的	周期的
$c/\bar{U}$	0.629	0.997	0.886	1.179