

II-312

複断面開水路流に発生する周期渦の3次元乱流構造

西日本旅客鉄道(株) 正 員 村山 宣義
 東京工業大学大学院 学生員 空閑 健
 東京工業大学工学部 正 員 池田 駿介

1. はじめに

複断面開水路流では横断方向の流速差のために高水敷・低水路境界部に周期渦が発生することが知られている。この周期渦について、従来より知られている斜昇流と呼ばれる複断面特有の現象との関連が指摘されている¹⁾。しかし、これまでに渦の内部構造が捉えられた例はなく、渦の内部構造と2次流との関連を議論した例もほとんど無い。また、周期渦と土砂輸送との関連が指摘されている²⁾が、今後このような問題を解決していくためにも周期渦の内部構造を把握しておくことは重要であるといえる。よって、本研究では複断面開水路流に発生する周期渦の3次元乱流構造を室内実験により明らかにし、周期渦に着目して複断面開水路における水理現象を検討する。

2. 実験方法

実験は、長さ14m、幅40cm、河床勾配1/700の水路に、長さ10mにわたって幅16cm、高さ5cmの高水敷を片側に設置し、水深を6cmにして行った。高水敷の設置開始点から約7.5mの地点の横断面内の測定点にて、レーザー流速計(TSI製)・Hot Film(KANOMAX製)により主流、横断、鉛直方向の3成分の流速を測定した。同時に容量式波高計(KENEK製)を境界部から若干低水路側の流速測定断面の約50cm後方に設置し、水面変動を測定した。

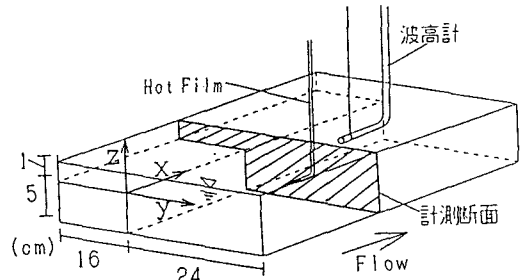


図-1 実験状況図

図-1に実験状況図を示す。データ解析法については、まず得られた流速の時系列データから水面変動記録を基準にして十数個の渦1波長分の時系列データを取り出す。実験の際に、Hot Filmの50cm前方にレーザー流速計を設置し、同時に流速測定を行った。図-2(a)に $y=-3.0\text{cm}$, $z=0.3\text{cm}$, $y=1.5\text{cm}$, $z=-1.0\text{cm}$ の2測定点におけるレーザー流速計とHot Filmの主流速変動記録を示す。両流速計は、流下方向に50cmずれているので、Hot Filmのデータを少しずらすしてレーザー流速計により得られたデータと位相を合わせたものが図-2

(b)である。これを見ると周期渦に伴う速度変動と思われる流速変動はかなり良好な一致を示している。また、どちらの場合も2秒という同じ時間だけずらしており、乱れは25cm/sの速度で輸送されていることになる。ここでは紙面の都合上示していないが、上記の事実は測定点全点で成立したので、周期渦に伴う流速の乱れは、本ケースでは空間的に一定に25cm/sで輸送されていることになる。よって、この速度を用いて流速の時系列データを空間データに変換した。こうして得られた渦十数個の空間データを位相をそろえて全て平均することにより、周期渦の3次元平均像を得た。

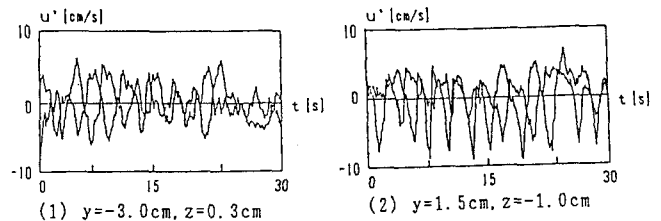


図-2(a) 主流速変動記録

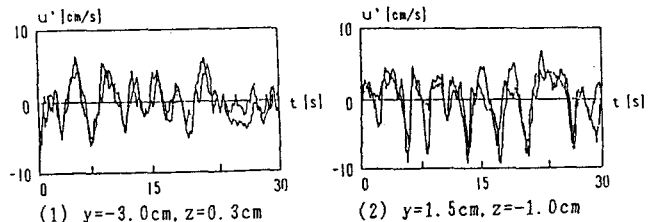


図-2(b) 主流速変動記録(位相をずらしたもの)

3. 実験結果

図-3に境界部における流速の移動座標系から見た、水面付近($z=0.7\text{cm}$)の水平断面内における流速ベクトル図を示す。図-4に、図-3で示している(1)~(4)の位置における横断面内の流速ベクトル図を示す。渦中心部の上流側(図中(1))においては、高水敷上の流体が低水路内へ下降しながら輸送されている。渦中心部に近づくにつれ(図中(2))、低水路側壁に沿う鉛直上向きの流体の輸送が形成され始める。渦中心部付近(図中(3))においては高水敷と低水路との流体の輸送はなく、境界部付近における鉛直上向きの輸送のみとなる。渦中心部の下流側(図中(4))においては低水路の流体が高水敷上へ上昇しながら輸送されている。このように、周期渦には各横断面ごとに異なった流れのパターンがある。また、低水路と高水敷との流体の挙動は強い3次元性を伴っており、斜昇流などの境界部における流体の3次元挙動は、周期渦の内部構造の一部として捉えることができる。図-5に周期渦における流体移動の概念図を示す。

図-6は、横断面における流下方向に渦1波長分について空間平均したときの流速の分布を示したものである。複断面特有の2次流が発生している様子が見られる。前に示したように、渦1波長分の内部構造には横断面ごとに異なった流れのパターンがある。このことより、複断面開水路流に発生する2次流は渦の1

波長分の運動の平均を取ることにより出現し、渦の3次元的な挙動により形成されることが分かる。

4. おわりに

複断面開水路流に発生する周期渦の3次元構造を室内実験により明らかにした結果、周期渦の内部構造を通じて斜昇流や2次流等の乱流現象が説明できた。

<参考文献>1) 今本博健・石垣泰輔: 土木学会水工学論文集, 第36巻, pp.139-144, 1992.

2) 木下良作・宇民正・上野鉄雄: 第23回乱流シンポジウム講演論文集, pp.329-334, 1991.

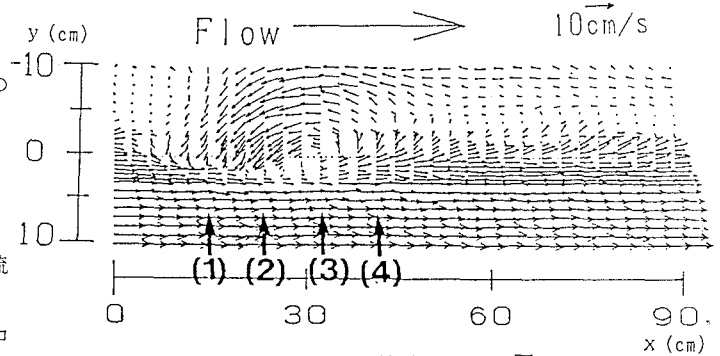


図-3 水平断面内の流速ベクトル図

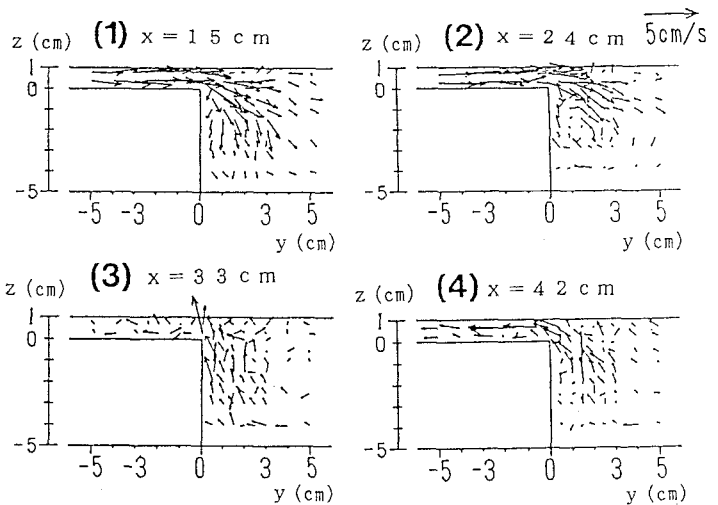


図-4 横断面内の流速ベクトル図

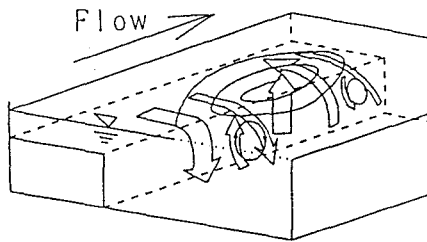


図-5 周期渦の概念図

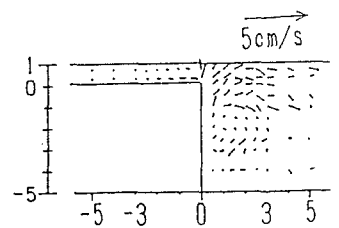


図-6 2次流分布