

Ⅱ-305 水深および幾何条件が複断面開水路流れに及ぼす影響について

京都大学防災研究所 正会員 武藤 裕 則

京都大学防災研究所 正会員 石垣 泰 輔

1.はじめに

複断面開水路流れの構造は、単一断面内で水深が均一でない、すなわち横断面内の幾何条件の不規則性によりもたらされる水理量の非一様性と、それらの非一様な水理領域間における相互の干渉とによって決定され、二次流やせん断応力の分布にその特徴が最も顕著に表れる。そのような構造は、流れの水理条件や水路の幾何条件が変化した場合、上述した水理量の非一様性およびそれらの相互干渉という素過程は変わらないものの、速度計測結果や可視化結果に見られる特性は、かなり異なったものとなる。これは、水理量の非一様分布の状態やそれらの干渉過程が、水理および幾何条件に大きく依存することに他ならない。本報告は、著者らが従来研究対象としてきた複断面開水路流れを、低水路と堤防法線の平面形状の組み合わせにより分類し、それぞれの形態における二次流、渦構造および混合機構に焦点をあてるとともに、これらの構造の水深の増減に対する変化も含めて、流れの境界条件への依存性について検討したものである。

2.複断面開水路流れの分類

複断面開水路の幾何形状を規定する変数には、水路の平面形状に関するものと断面形状に関するものがあるが、上述の素過程との関連で言えば、断面形状は非一様な流れの分布状態を決定するのに対し、平面形状はそれらの相互干渉過程を左右する。ただしこれらの規定関係は、明確・排他的に行われるものではない。本報告では、流れの構造をより劇的に変化させる平面形状により複断面開水路を分類する。

複断面開水路は低水路および高水敷で構成されるから、平面形状は低水路および堤防法線の形状とそれらの組み合わせにより決まる。低水路には Brice¹⁾による分類、すなわち直線、屈曲および蛇行を用い、また堤防法線は直線とそれ以外（ここでは便宜的に蛇行とする）とすれば、実河川を考慮したそれらの現実的な組み合わせとしては、表-1 に示す次の4つが考えられる。すなわち、（堤防法線）－（低水路）とした場合、A：直線－直線、B：直線－屈曲、C：直線－蛇行およびD：蛇行－蛇行である。

また、上述したように、水路の幾何形状とは別に、水深も複断面開水路流れの構造を規定する重要な要因である。このような水深の変化に伴う流れの構造の変化をここでは水深依存性と呼ぶ。

表-1 複断面流れの分類と構造の水深依存性

複断面水路の分類			流れの構造の特徴
	堤防法線の形状	低水路の形状	
A	直線	直線	水平渦および斜昇流が存在する。水深が小さな場合には、水平渦が卓越する。
B	直線	屈曲	Aで見られる構造も存在すると考えられるが、低水路屈曲部から発達する構造と、高水敷上流れの低水路への流れ込みおよび低水路流れの高水敷上への乗り上げに起因する構造が支配的である。水深の変化により、それぞれの構造が影響する範囲が異なってくる。
C	直線	蛇行	低水路蛇行頂点付近から発達する構造と、高水敷上流れの低水路への流れ込みおよび低水路流れの高水敷上への乗り上げに起因する構造が支配的である。水深が小さな場合には、流れ込みおよび乗り上げは比較的弱い。
D	蛇行	蛇行	堤防法線の蛇行頂点付近から発達する構造が支配的である。水深の増加により、その構造が影響する範囲が拡大する。

キーワード：複断面流れ、蛇行水路、渦、二次流、流体混合

連絡先（〒612 京都市伏見区横大路下三栖 TEL：075-611-4393 FAX：075-612-2413）

3. 流れの構造とその水深依存性

表-1に前節で分類した各種複断面開水路流れの特徴を示す。

まずA：直線－直線では、横断方向の流速分布の非一様性によりもたらされる水平渦および斜昇流が顕著である。これらの出現率は、流速分布の勾配が大きくなる水深の小さな時に水平渦が卓越し、水深が大きな時には両者が混在する。したがって斜昇流は高水敷上水深に大きく規定された現象であると言える。

つぎにB：直線－屈曲およびC：直線－蛇行であるが、両者の基本的構造は主流方向の差異に基づく低水路内・高水敷上間の干渉であり、それは屈曲／蛇行部頂点付近から発達する縦渦を伴った構造と、交差部付近の低水路・高水敷間の流体交換に起因する構造として特定される。これらの水深依存性については、縦渦は段落部におけるはく離渦と類似の現象であるため常に見られるが、流体交換は高水敷上水深が相当程度大きくないと顕著でない。これより、流体交換は高水敷上流れの発達に依存した構造であることがわかる。なお、BとCとの構造上の相違については現在検討中であり、別報²⁾で述べる。

最後にD：蛇行－蛇行であるが、低水路と堤防法線の蛇行が同位相である場合、主流方向が基本的に同じであるため、横断方向の流速分布の非一様性が再度支配的となる。また、堤防法線の蛇行頂点付近から発達する水平渦を伴った現象が顕著であり、断面全体で単一の蛇行水路としての特徴を示すようになる。この現象のスケールは、水深が大きくなるにつれて拡大する。

4. 構造の幾何条件依存性

前節の各流れの特徴を、混合機構および渦構造などの組織構造から整理すると表-2のようになる。

流体間の混合は、流速分布の勾配が最大となる付近で、その勾配が発生しているのと平行に最も活発に進む。したがって、水路の幾何条件によってどのような流速分布が発生するかが問題である。前述したように、AおよびDの水路形態では、横断方向に大きな流速の勾配が発生するので、接合部における鉛直断面で分割した低水路・高水敷間の水平な流体混合が顕著である。これに対してBおよびCの水路形態では、交差部を中心として鉛直方向に大きな流速の勾配が発生するので、高水敷高さにおける水平断面で分割した上層（高水敷上）・下層（低水路内）間の鉛直混合が卓越する。これらより、混合機構は低水路・高水敷間の主流方向の差異によって大きく規定され、したがって、低水路と堤防法線の蛇行の程度の差異とともに、それらの位相差も影響するものと考えられる。ここでAの場合は位相差0と考える。

一方、渦構造については、例えばAとDでは同様に水平渦が観察されているが、これらの発生機構はそれぞれ、せん断不安定によるものと地形性のはく離というように全く異なる。このことは、渦構造のような組織構造は、幾何条件依存性に対して鋭敏であることを示している。しかしながら、せん断不安定による渦は前述の流速勾配と密接に関連していることから、そのような渦に関しては少なくとも混合機構に対してと同様の幾何条件依存性を見出すことが可能である。詳細についてはさらに検討が必要である。

参考文献：1)Brice：USGS Professional Paper, 1964, 2)石垣・武藤：土木学会第52回年講、1997（投稿中）。

表-2 混合機構および組織構造の幾何条件に依存した差異

複断面水路の分類			混合機構および組織構造		
	堤防法線	低水路	卓越する混合機構	渦構造	二次流
A	直線	直線	水平混合：接合部を通して低水路・高水敷間	水平渦（せん断不安定）	斜昇流
B	直線	屈曲	鉛直混合：高水敷高さを通して上層（高水敷上）・下層（低水路内）間	縦渦	（交差部）
C	直線	蛇行	鉛直混合：高水敷高さを通して上層（高水敷上）・下層（低水路内）間	縦渦	（交差部）
D	蛇行	蛇行	水平混合：接合部を通して低水路・高水敷間	水平渦（地形性のはく離）	蛇行斜昇流