

水路の蛇行に伴う大規模二次流れの特徴

徳山高専 正員 ○渡辺勝利
 正員 大成博文
 正員 佐賀孝徳
 山口大学 正員 斎藤 隆

1. はじめに

水路の蛇行あるいは湾曲部における二次流れの構造の本質を解明するには、そこに形成された組織構造との相互関係を明らかにする必要がある。本研究は、水路の蛇行に伴う二次流れと組織構造の特徴を、流速計測と2つのトレーサを用いた流れの可視化法によって検討した。

2. 実験装置および方法

実験には、図-1のような直線水路と蛇行水路を連結した水路を使用した。本水路における断面Fから10までの区間において、流速計測および流れの可視化実験を行った。流速計測には、2成分のファイバー型レーザー流速計を使用し、断面F, A, 4, 10の水路中心部における主流、横断方向流速および乱れ強度、レイノルズ応力を計測した。流れの可視化実験では、蛍光染料と水素気泡を併用した横断面視を行った。図-2にその可視化手法の概略を示す。実験条件は水深(H)を4.0cm、レイノルズ数($Re=U_m H/\nu$, U_m :断面平均流速, ν :水の動粘性係数)を4000、水路勾配を1/1000に設定した。

3. 実験結果および考察

図-3に主流速 U および横方向流速 W の計測結果を示す。 U については、直線部では同一形状を呈している。蛇行部では、 $y/H > 0.1$ において、直線部よりも1割程度減少している。 W については直線部においてはほとんどゼロである。蛇行部の断面4では、 $y/H=0.3$ を境にその正負が逆転している。また、その最大値は平均流速の10～15%にも達している。断面10では断面4と逆位相の分布形状を呈するが、その値は小さい。

断面4における横断面視の結果の一例を図-4に示す。壁近くには、内岸方向へ傾斜した壁縦渦の横断面形象(A, B)が、十字陰極線よりも上部には、外岸側へやや傾斜した大規模な組織構造が可視化されている。このとき、水素気泡の横断面形象(白い細線に相等)は、上流の十字線位置からずれて複雑な屈曲を示している。鉛直方向の陰極線からの水素気泡流脈は、比較的小スケールの変動を伴いながら、壁近くでは内岸側へ、半水深以上の領域で外岸側へ、それぞれの変位を示している。水平方向については、外岸側にやや大きく下降成分として変位している。これらの変位は組織構造の誘起する瞬間的な二次流れを示すとともに、その変位の勾配は横方向および縦方向のせん断を示しているように思われる。

組織構造の傾斜特性を調べるために、図-5のように

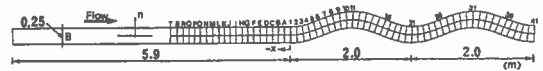


図-1 実験水路概略

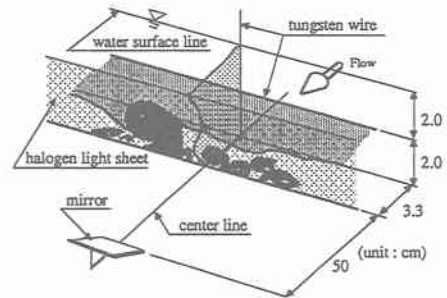
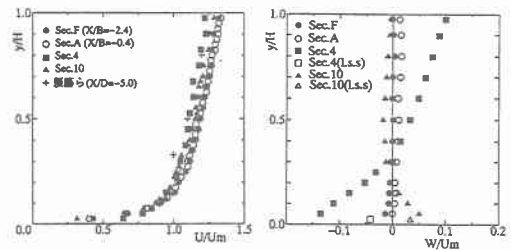


図-2 横断面視法



(a)主流速 U (b)横方向流速 W

図-3 平均流速分布



(◇-◇:水平陰極線位置, ◆-◆:鉛直陰極線位置)

図-4 横断面視の一例(断面4)

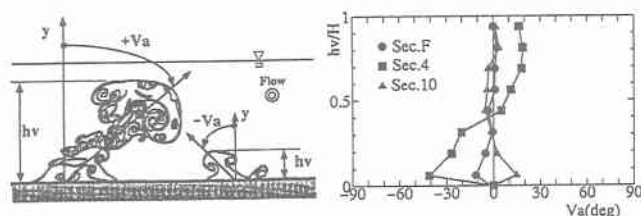


図-5 組織構造の傾斜角特性

断面F, 4, 10におけるその傾斜角を測定した。計測領域は水路中央を中心とする2Hの範囲で、計測個数は各断面1000である。直線部と比較して蛇行部断面4の傾斜は顕著であり、 $y/H=0.3\sim 0.4$ 付近でその正負が逆転している。断面10では底壁面近くで正値を示し、断面4と逆位相の分布を呈している。この組織構造の傾斜角分布は、横方向平均流速 $\bar{W}$ の分布と類似している。このような、組織構造の傾斜方向が逆転する特徴を「横方向の傾斜構造」と定義する。図-6には、断面4を通過する組織構造の時空間構造図を示した。この図においても、底壁面近くの組織構造(SV②～⑥)は内岸方向へ、壁から離れて発達した組織構造(SV①)は、外岸方向へ傾斜していることが認められる(矢印)。

図-7(a)は、図-6と同一時刻の鉛直方向の陰極線から発生した水素気泡流脈の連続画像である。この図より、組織構造と同様に、壁近くと壁からはなれたところで変位の方向が異なっていることが明瞭である。同図(b)は、この水素気泡流脈の鉛直・水平平均変位 Dz 、 Dy を示している。この Dz 、 Dy の分布は、各々の変化の大きさに約3倍の相違があることから横方向にやや歪んだ形状を示している。これは微小時間内における時計回りの回転運動を伴う大規模な二次流れの存在(矢印)を示唆している。この水素気泡の変位をより長時間(15秒間)に亘って計測した結果を図-8に示す。(a)の断面4における平均変位 Dzm は、壁近くで負から正へ、さらには水表面付近で正の一定値となる3領域に区分される。一方、 Dym は、陰極線の交差位置付近でわずかな値を示している。 Dzm の変位の絶対値は Dym 約10倍であることから、この領域では横方向の二次流れが支配的であることが推察される。(b)の直線部断面Fでは、鉛直および水平方向の変位は、蛇行部のそれと比較してわずかであり、各々の方向に様に近い分布を示している。

4. おわりに

水路蛇行部では横方向の顕著な二次流れが形成され、その分布特性は組織構造の「横方向の傾斜構造」と一致することが明らかとなった。今後さらに、水素気泡流脈の変位勾配に注目し、その特性を調べる予定である。

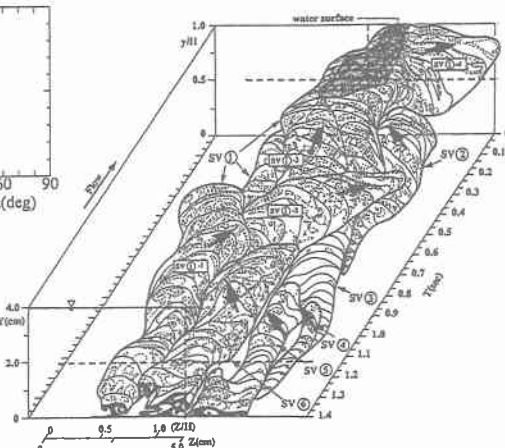
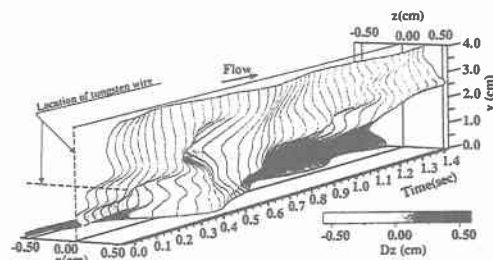
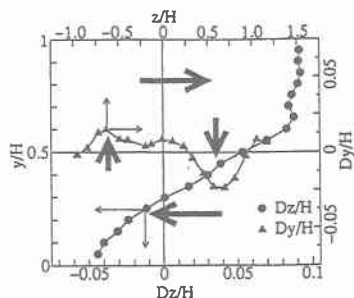


図-6 組織構造の時空間構造図

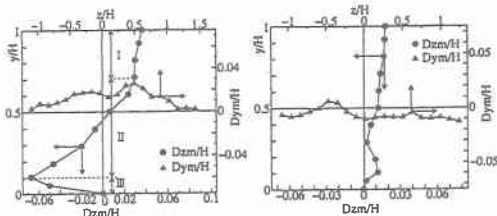


(a) 水素気泡流脈の経時変化



(b) 水素気泡流脈の平均変位 (1.4秒間)

図-7 水素気泡流脈の変位特性



(a) 断面4

(b) 断面F

図-8 水素気泡流脈の平均変位 (15秒間)