植生を有する河道における非水没と水没時の流れ構造の変化

広島大学大学院　　学生会員　○山本　浩之
広島大学大学院　学生会員　　Jahra Fatima
広島大学大学院　フェロー会員　河原　能久
広島大学大学院　　正会員　　椿　涼太

１．序論

近年の河川管理において河道内の植生管理は重要な課題である。河道内の植生は，洪水時には抵抗となり河道の洪水処理能力を低下させる．一方，環境・景観の側面から考えると，植生はなくてはならないものである．このように治水と環境の調和した川づくりのためには，植生周りの流れを明らかにし，それを基にした植生管理手法の確立が必要である．

辻本・北村[1)]は，片側に一様な植生モデルを正方形配置した矩形断面直線水路において非水没の条件のもと実験を行い，植生群落を有する河道の流れが十分に発達した領域での流れの横断混合機構について調査している．そして水面変動，各流速変動成分の時空間相関を詳細に論じている．また，禰津ら[2)]は，植生を有する河道が完全に水没する場合の水面変動や流れの三次元性に着目し，水面変動と組織乱流構造の関係について詳しく論じている．現在も植生を有する河道に関する研究は活発に行われているが，植生周りの流れは複雑で，まだ十分解明されていないのが現状である．

そこで本研究では，直線水路の両岸に直線植生域，また蛇行植生域を配置し，それぞれの植生域において流量を変化させて，植生が完全に水没した場合と水没しない場合について実験を行った．直線植生域を有する河道においては，乱れの主流方向での発達過程について検討するとともに，変形しないモデル植生が完全に水没する場合と非水没の場合での流れ構造の変化を明らかにすることを目的とした．一方，蛇行植生域を有する河道においても，乱れが十分に発達した区間における流況を，モデル植生が完全に水没する場合と非水没の場合での流れ構造の変化について明らかにすることを目的とした．

２．実験方法

１）実験水路

図-1 に本研究で用いた実験水路の概要を示す．植生域区間は長さ 11m，幅 1.82m であり，上下流端に植生なしの区間を約 5m 設けている．植生モデルは直径 3mm，高さ 5cm の竹串を用い，中心間隔約 3cm で正方形配置した．**図-1** の斜線部分は直線植生域の範囲を示しており，植生幅 0.435m の植生域を両岸に設置し．主流域幅は 0.95m とした．蛇行植生域は最大幅 0.645m，最小幅 0.195m で，蛇行形状は蛇行度 1.10，波長 2.2m の Sine-generated curve を参考にし，4.75 波長連ねた形状となっている．

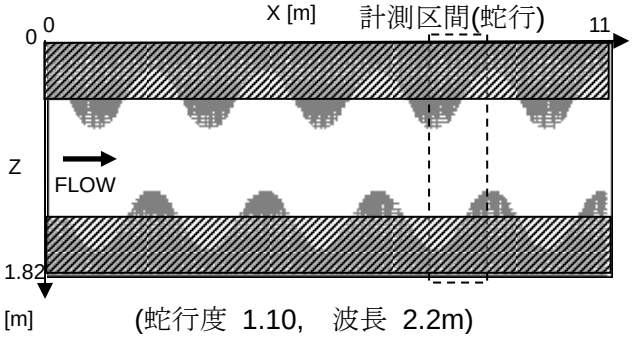

図-1 実験水路の形状

２）計測区間

直線植生域の場合は，乱れの発達過程の検討のため，X=5m, 6.5m, 8m, 9m, 9.5m の計 5 断面で流速変動と水面変動を計測した．

図-2 に蛇行植生域における計測断面を示す（**図-1** の計測区間(蛇行)）．計測区間は乱れが十分に発達する４番目の波の半波長分とし，下流から断面 No を S1(X=8.65m), S2(X=8.1m), S3(X=7.55m)とする．S3 は左岸側で山の頂上，右岸側で谷の底であり S1 はその反対である．S2 は S1,S3 の中間である．

それらすべての断面で I 型, L 型の電磁流速計により主流(U)，横断(W)，鉛直方向(V)の流速の平均値と変動を 10Hz で 2 分間計測した．またサーボ式波高計を用い水面変動を 10Hz で 5 分間計測した．

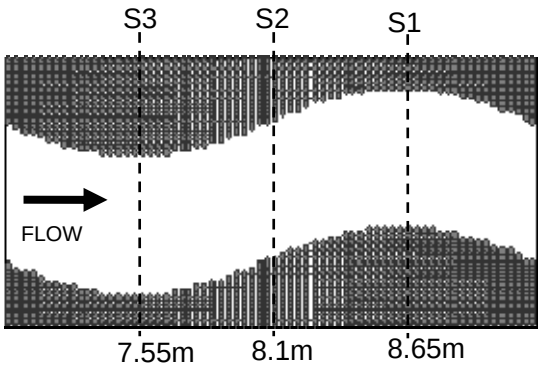

図-2 計測断面位置

表-1 に実験条件を示す．CaseA1,A2 は直線植生域を有し，それが水没するか，非水没かを流量を変化させて実施した．CaseA3,A4 は蛇行植生域を有し，CaseA3 は CaseA1 と，CaseA4 は CaseA2 と同じ流量を流し変化を調査した．

表-1 実験条件

Case	河床 勾配	流量 [l/s]	平均水深 H0 [cm]	最大主流速 Umax [cm/s]	植生の 状況
A1	1/633	18.5	3.9	48.0	直線非水没
A2	1/633	55	7.8	78.8	直線水没
A3	1/633	18.5	4.2	49.8	蛇行非水没
A4	1/633	55	8.3	74.6	蛇行水没

3．実験結果

1）直線植生域を有する流れの特徴

図-3, 4 はCaseA1,A2 における乱れが十分発達した断面でのU/U_{max}の横断面内コンター図である．図-3 と図-4 を比較すると，境界部での主流速の変化率は非水没の場合の方が急激に変化している．またU/U_{max}＞0.9 の範囲は非水没の方が水没の場合より広く，水没の場合には，乱れの範囲が拡大していることがわかる．また植生域内において，非水没の条件では鉛直方向の流速の変化は僅かであり，ほぼ一定である．一方水没する場合には，植生高さの上層と下層で主流速差が存在している．そして両図ともに主流域では鉛直方向に大きな流速差が生じている．

また主流速分布は流下するにつれて，植生内流速からU/U_{max}=0.9 まで変化する横断距離が長くなり，U/U_{max}＞0.9 の範囲が縮小している．また二次流V,W は比較的大きくなる境界部においてもUに比べて約5%程度の大きさしかない．

図-5, 6 は十分に乱れが発達した断面での主流の乱れ強度U_{rms}/U_{max}の横断面内のコンター図である．両図ともに，境界部の主流域側で最大値を示している．また図-3，4 と同様に，植生域内において，非水没の場合には鉛直方向には一様に近く，横断方向に二次元的に変化しているのに対し，水没すると鉛直方向にも横断方向にも変化していることが確認できる．

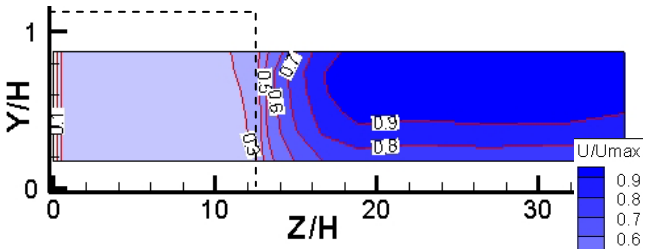

図-3 U/Umax のコンター (CaseA1,X=9.5m)

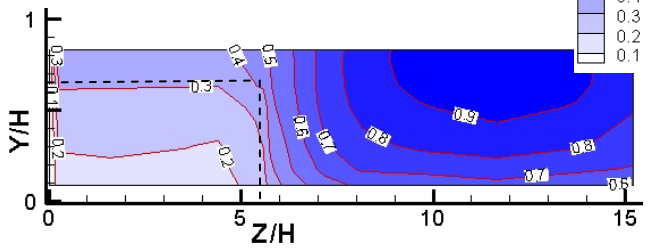

図-4 U/Umax のコンター (CaseA2,X=9.5m)

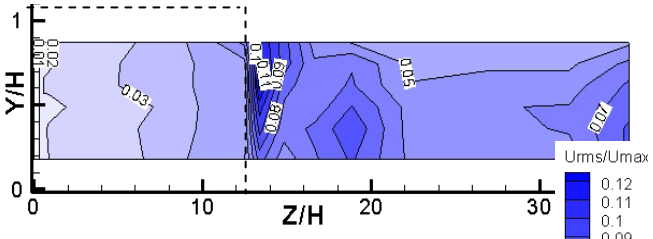

図-5 Urms/Umax のコンター (CaseA1,X=9.5m)

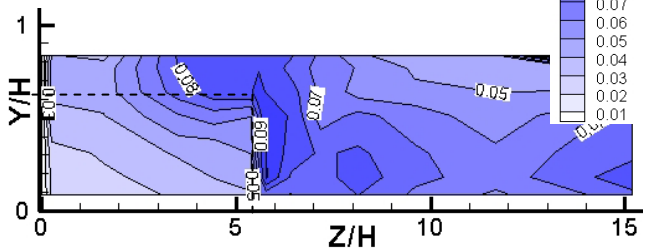

図-6 Urms/Umax のコンター (CaseA2,X=9.5m)

図-7 から図-10 はレイノルズ応力の横断方向分布の流下方向変化を示している．図中の点線は植生域と主流域の境界（Z=0.435m）を示している．図-7 から,乱れは植生域と主流域の境界部の主流域側でピークを示し，その値は流下距離に比例するように増加しているが，8m の断面以降では大きく変化はしていない．図-8 においても，ピーク値は図-7 と同様の場所に現れているが，8m の地点ではまだ乱れが十分に

発達しているとは言えない．つまり流量の増加，水深の増大により乱れが十分発達する距離が長くなったと考えられる．また乱れの影響する範囲も**図-7** に比べると広くなっている．

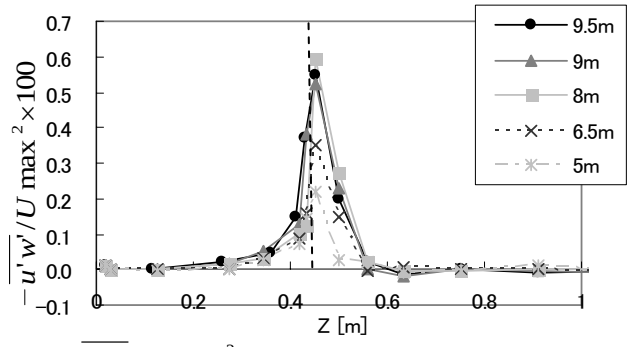

図-7 $-\overline{u'w'}/U\max^2$ の横断方向分布(CaseA1,Y/H=0.62)

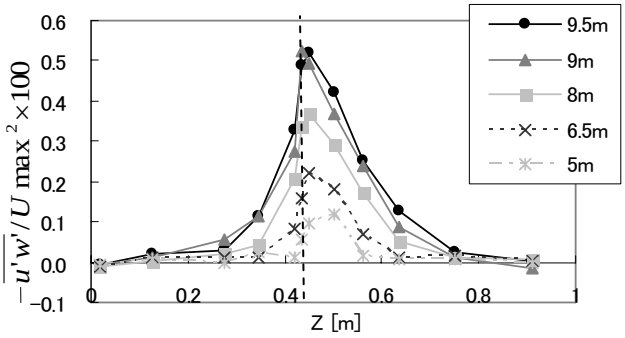

図-8 $-\overline{u'w'}/U\max^2$ の横断方向分布(CaseA2,Y/H=0.64)

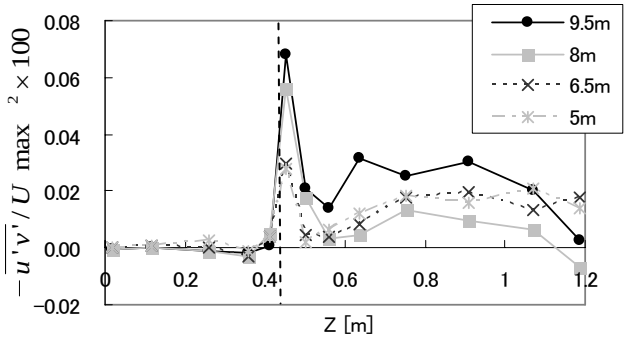

図-9 $-\overline{u'v'}/U\max^2$ の横断方向分布(CaseA1,Y/H=0.62)

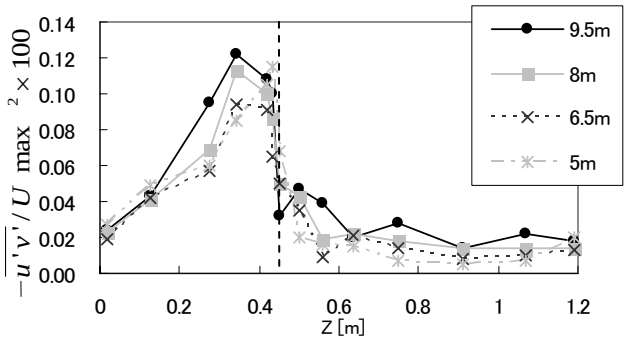

図-10 $-\overline{u'v'}/U\max^2$ の横断方向分布 (CaseA2,Y/H=0.64)

図-9 においても同様にピークは植生域と主流域の境界部の主流域側にある．また，植生域内での鉛直方向の乱れが極めて小さいことがわかる．主流域側では，その値は小さいものの鉛直方向の乱れは植生側よりは生じている．**図-10** は植生高さにおける $-\overline{u'v'}/U\max^2$ の分布であり，植生域側に乱れのピークが現れている．乱れは，流下距離に比例するように増加していき，乱れが十分発達するまでにかかる距離は流量，水深が増大すれば長くなっている．また植生域内での鉛直方向の乱れは完全に水没した場合では激しく乱れているのがわかる．

２）蛇行植生域を有する流れの特徴

図-11,12 は断面 S1 の主流速分布を示している．図中の点線は植生域を表している．CaseA3,A4 ともに最大流速は水路中心付近に現れ，植生を配置していない箇所（図の左側）において流速の増大はあまりみられない．また速度勾配も最大植生幅付近が最も大きい．つまり植生域は蛇行しているものの，複断面蛇行水路とは違い，植生中も流速は最大流速の半分以下と小さいながらも存在するため，流れはあまり蛇行していないと思われる．この結果には植生密度や主流域幅も影響していると考えられる．非水没の場合（A3）と水没する場合（A4）の相違点として，A4 の植生域上部で高い三次元性を示している．

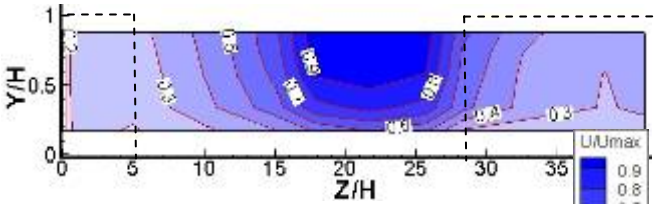

図-11 U/Umax のコンター (CaseA3,S1)

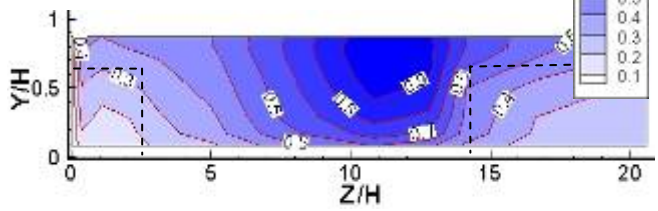

図-12 U/Umax のコンター (CaseA4,S1)

また図-13 はケース A4 における各計測断面の植生高さにおける U と W のベクトル図である．これをみても植生域の蛇行の影響は小さく，主流速に対する横断方向流速は極めて小さいことが確認できる．**図-14，15** にそれぞれ CaseA3,A4 におけるレイノルズ応力 $\overline{u'w'}$ の横断方向分布を示す．図中のレイノルズ応力値 **RS** は $\overline{u'w'}/U\max^2\times100$ とした．まず両ケー

スともレイノルズ応力の最大値は，必ずしも植生域と主流域の境界ではなく，植生域の最大幅(図中の点線)付近に現れている．そして S3 の左岸側の植生域と主流域の境界部より S1 での最大植生幅付近の方が大きい．これは左岸側の最大植生幅付近の流速について考えた場合，断面 S3 の植生により減速された S1 の左岸側流速が，S3 のそれより小さくなり，最大流速との差が大きくなったため，すなわち速度勾配が大きくなったためであると考えられる．

また同一断面の左岸側，右岸側でも同様のことが言え，両ケースともに S1 において RS の絶対値は左岸側が右岸側よりも大きく，S3 ではその反対の傾向を示し，S2 は比較的等しい値を示している．

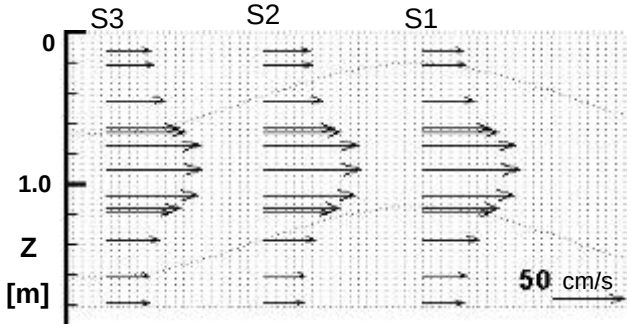

図-13　流速ベクトルの分布　（CaseA4,Y/H=0.60）

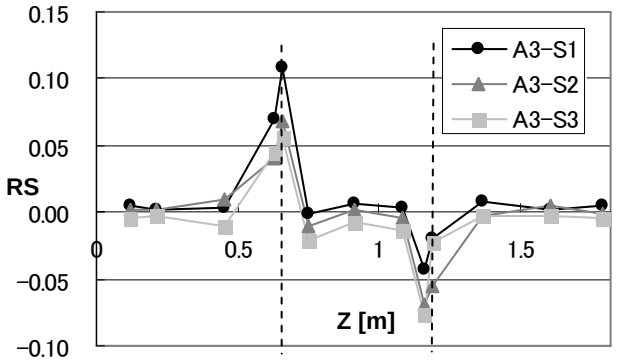

図-14　$-\overline{u'w'}/U\max^2$ の横断方向分布(CaseA3,Y/H=0.76)

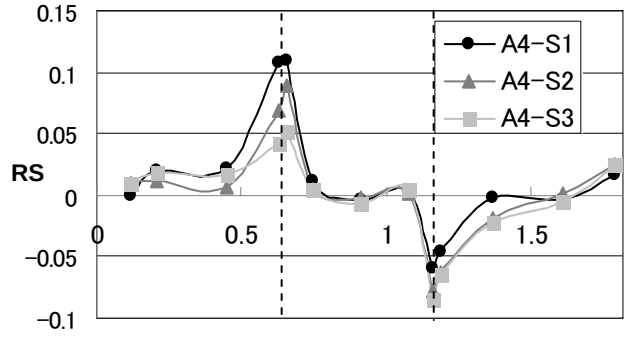

図-15　$-\overline{u'w'}/U\max^2$ の横断方向分布(CaseA4,Y/H=0.60)

４．結論

直線水路の両岸に直線植生域と蛇行植生域を配置し，植生域が完全には水没しない場合と完全に水没する条件下での流れ場を計測した．

植生域を両岸に有する直線水路での流れに関して次のような知見を得た．

- 主流は植生域と主流域の境界部付近で流速が大きく変化する．植生が非水没の場合には植生域で平均流速は鉛直方向にほぼ一様になる．また，断面内の 2 次流は弱い．植生が水没する場合には植生域上部で大きな流速変化が発生する．
- 横断方向のレイノルズ応力は，非水没・水没条件ともに境界部付近の主流域側でピークを示す．これには大規模な渦が大きく寄与している．また，植生の影響範囲は水没する方が広くなる．
- 植生域内での鉛直方向のレイノルズ応力は，非水没条件の場合には極めて小さいが，完全に水没した場合では比較的大きな値をとる．
- 乱れは流下するにつれて増大し，十分に発達するまでの距離は流量，水深が増大すれば長くなる．

一方，蛇行植生の密度が密でなく主流域幅が蛇行振幅に比べて広い水路での流れに関して次のような知見を得た．

- 平均流は大きく蛇行せず，断面内の主流速分布は断面毎にはあまり変化しない．
- 横断面内で乱れが最も大きくなるのは，最大植生幅付近であり，必ずしも植生域と主流域の境界部ではない．

参考文献

1) 辻本哲郎，北村忠紀：側岸部に樹木群を有する開水路流れの横断混合機構に関する実験的研究，土木学会論文集，No.491，1994.
2) 禰津家久，鬼束幸樹，池谷和哉：植生開水路流れにおける水面変動と流速変動の相関，水工学論文集，第 44 巻，2000 年.
3) 岡田将治，福岡捷二：複断面河道における洪水流特性と流砂量・河床変動の研究，土木学会論文集 No.754/Ⅱ-66，2004.