

直線複断面水路において植生の配置が 流水に及ぼす影響

朝位孝二 (社会建設工学科)

重枝未玲 (九州工業大学)

難波宏聡 ((株) 極東技工コンサルタント)

河元信幸 (社会建設工学科)

Effect of Arrangement of Vegetation on Flow in Straight Open Composite Channel

Koji ASAI (Department of Civil and Environmental Engineering)

Mirei SHIGE-EDA (Kyushu Institute of Technology)

Hirotooshi NANBA (Kyokuto Giko Consultant, LTD.)

Nobuyuki KAWAMOTO (Department of Civil and Environmental Engineering)

In this study, the effect of visitations on resistance characteristics in open composite straight channel is investigated experimentally. Two kind of modeled vegetations are used. One is made of polyvinyl chloride and has permeability and the other is made of acryl plates and has no permeability. We conducted the experiments by varying setting location and width of the modeled vegetations.

To set the modeled vegetations made of polyvinyl chloride on the flood plain makes the water depth deep. On the other hand, the water depth does not increase for the modeled vegetations made of the acryl plate. Location and width of the modeled vegetation does not affect the water depth or the resistance characteristic remarkably.

Key Words : *vegetaion, straight open composite channel, resistance characteristic*

1. はじめに

複断面河道は、役割の異なる二種類の河道からなっている。それは低水路と呼ばれる本来の河道と、高水敷と呼ばれる洪水時にのみ流れのできる河道との二種類の河道である。

また、複断面河道は、多くの河川に認められる最も代表的な河川形状である。複断面河道では低水路河岸に連続的に繁茂した植生が多くみられ、河道内にある植生群は大きな抵抗を持ち、洪水時には極端な水位上昇や局所的な洗掘などといった好ましくない事態を引き起こす場合がある。しかし近年、植生群の生態学的な重要性や景観などの面からも、治水のためだけに伐採を考えるのは好ましくなく、その存在の重要性も認めるようになってきている。このような植生群による問題を抱えている河川の例として、大分県にある大野川およびその派川である乙津川がある。大野川・乙津川では、平成5年に大規模な洪水がおきており、

平成16年にも台風23号により河川の氾濫が起きている。乙津川では河川堤防はほぼ完成している。しかし、洪水時には高水敷上の繁茂した樹木群により河道断面が不足しているため、極端な水位上昇を起こし河川堤防を越え、河川の氾濫が起きてしまっている。

乙津川は蛇行が少ないほぼ直線的な河道を有する複断面河川である。そこで本研究では、乙津川をモデル河川として、複断面直線水路の高水敷に模擬植生を設置することで複断面河道を再現し、植生の設置位置、設置幅を変化させて、植生の流れに与える抵抗について実験的に検討するものである。

2. 実験方法

(1) 実験装置

Fig.1 に実験水路を示す。実験水路は、上流水槽、量水槽、ポンプ、循環水路から構成され、直線複

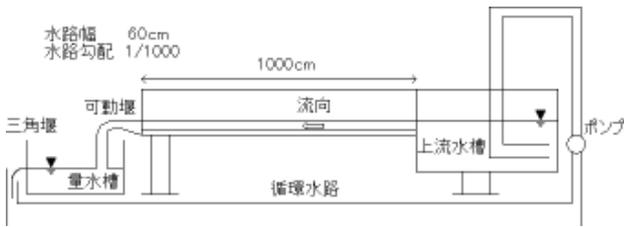


Fig.1. Experimental setup

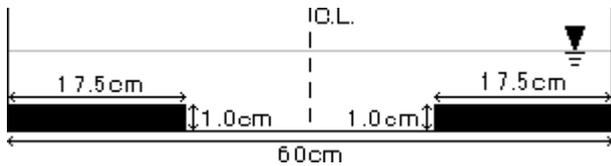


Fig.2. Cross section of the channel



Fig.3. The modeled vegetation which is made of polyvinyl chloride

断面水路は長さ 1000cm, 水路勾配 1/1000 の総アクリル製である。また、水路下流端に可動堰を取り付けており、水深の調節を可能としている。

開水路の横断面は Fig.2 に示すように、水路幅は 60cm で、水路の右岸・左岸側の両側に上流端から下流端にかけて幅 17.5cm, 高さ 1cm, のアクリルを設置することで直線複断面水路としている。また、低水路の幅は 25cm となる。

(2) 模擬植生

本実験に用いた模擬植生のひとつは、塩化ビニル・塩化ビニデリンを主原料とした土木工事用マットである。以下、市販マットと呼ぶことにする。この材質の平均密度は 0.079g/cm³, 空隙率 93.3%, 透過係数 31.3cm/s である。外観を Fig.3 に示す。また、比較のため透水係数 0 の素材としてアクリル板からなる模擬植生も用いた。

(3) 実験条件

Table 1 に実験条件を示す。各 case は、模擬植生を設置していない case を case0, 模擬植生に透過する素材の市販マットを用いた case1~case6, 模擬植生に不透過素材のアクリルを用いた case7~

Table 1. Experimental setup

case	模擬植生	設置位置・幅	流量(cm ³ /s)	
0	なし	-	2800	
			3500	
			4500	
1	市販マット		2800	
			3500	
			4500	
2			2800	
			3500	
			4500	
3			2800	
			3500	
			4500	
4	市販マット		2800	
			3500	
			4500	
5			2800	
			3500	
			4500	
6			2800	
			3500	
			4500	
7		アクリル		2800
				3500
				4500
8			2800	
			3500	
			4500	
9			2800	
			3500	
			4500	
10			2800	
			3500	
			4500	
11		2800		
		3500		
		4500		
12		2800		
		3500		
		4500		

case12 である。また、それぞれの case について流量 2800, 3500, 4500cm³/s で実施している。

実験方法は、各 case に合わせて模擬植生を水路全面に設置し、流量を調節した。

流水が安定した後、ポイントゲージを用いて水深の計測を実施した。なお、水深の計測は上流から 50cm 間隔で 900cm 地点まで両水路壁から 10cm の高水敷上水深と、水路中央の低水路水深の三箇所を計測した。

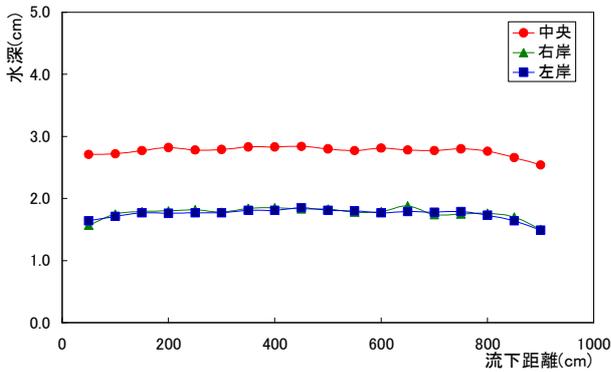


Fig.4. Relationship between the stream wise distance and the water depth (case0)

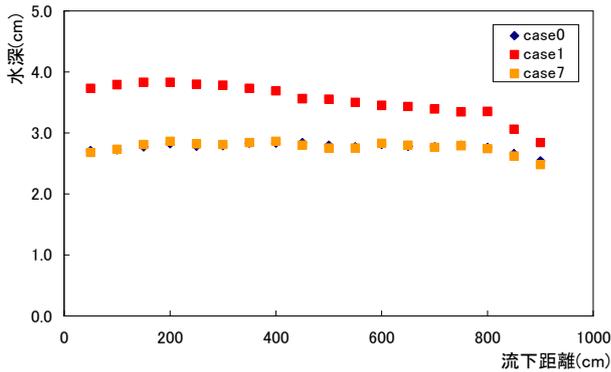


Fig.6. Relationship between the stream wise distance and the water depth ($Q=2800\text{cm}^3/\text{s}$)

あわせて、電磁流速計 (KENEK 製 VMF-200) を用いて流速の計測を行う。流速の計測は上流から 500cm の横断面で行い、横断方向に 2cm 間隔で、水深方向に 2 割, 5 割, 8 割水深の 3 点を計測した。

3. 実験結果と考察

(1) 直線複断面水路の流況

Fig.4, Fig.5 に模擬植生を設置していない状態 (case0) での流量 $2800\text{cm}^3/\text{s}$ のときの水深と流速の計測結果を示す。

Fig.4 の横軸は流下距離、縦軸は水深を示している。流入部、流出部において水深が若干低くなっていることを除けば、ほぼ水深は一定となっている。この水理条件での低水路の等流水深の理論値を計算で求めたところ 2.76cm となった。流速の計測断面である上流から 500cm 地点の水深は 2.80cm で理論値とほぼ合致している。

Fig.5 の横軸は水路横断距離、縦軸は流速を示している。図中の灰色の部分は高水敷を示している。また、描点はそれぞれの側壁からの隔てた位置の流速の値を示している。この結果から、水路中央を境にして左右対称であることが確認できる。また、高水敷から低水路への活発な運動量輸送が生じるため、高水敷での流速が減速され、低水路で

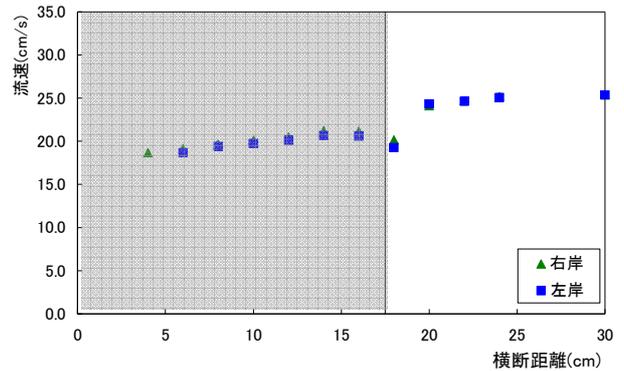


Fig.5. The flow velocity distributions in the span wise direction (case0)

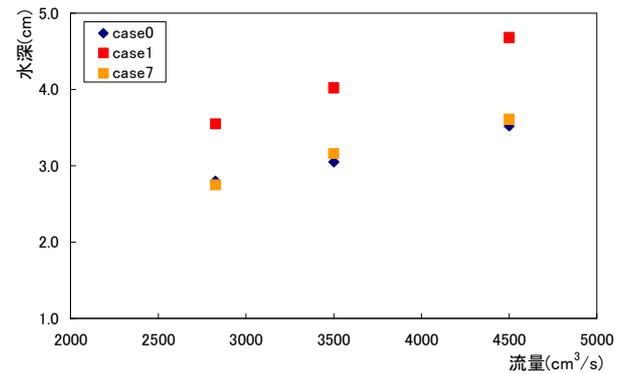


Fig.7. Relationship between the flow rates and the water depth (case0,1,7)

の流速が加速されていることが確認できる。

(2) 水深の計測結果

模擬植生を case ごとに設置して、水深を計測した。高水敷では、Fig.4 から右岸・左岸とも同程度であったため平均値を示す。

(a) 模擬植生による低水路水深の比較 (case0, case1, case7)

流量 $2800\text{cm}^3/\text{s}$ 時、水路中央部での水深の測定結果を Fig.6 に示す。横軸に流下距離を、縦軸に水深を示している。図中の描点の違いは、模擬植生の違いである。あわせて、比較のため、模擬植生を設置していない case0 も描点している。

また、流量と低水路水深の関係を Fig.7 に示す。横軸に流量、縦軸に上流から 5.0m 地点の水深を示している。図中の描点は、Fig.6 と同様である。

Fig.6 から、模擬植生の設置していない case0 と模擬植生にアクリルを用いた case7 との水深の差はほとんど見られない。流入部、流出部付近において若干水深が低くなっているが、ほぼ一定の水深となっている。しかし、模擬植生に市販マットを用いた case1 では case0, case7 に比べ全体的に水深が大きく、流下方向に向かうにしたがいその差は小さくなり case0, case7 の水深に近づく。この現象は、流量 $3500\text{cm}^3/\text{s}$, $4500\text{cm}^3/\text{s}$ でも同様であったが、流量が増すごとに case0, case7 と case1

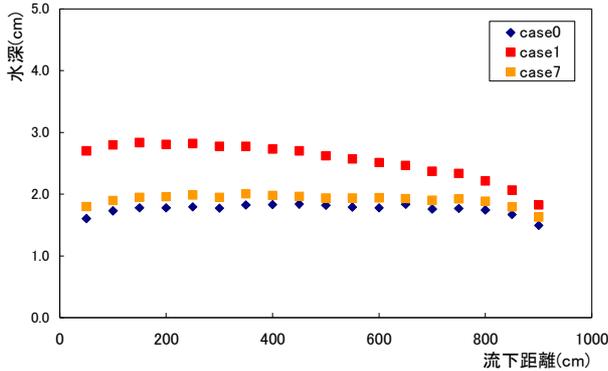


Fig.8. Relationship between the streamwise distance and the water depth ($Q=2800\text{cm}^3/\text{s}$)

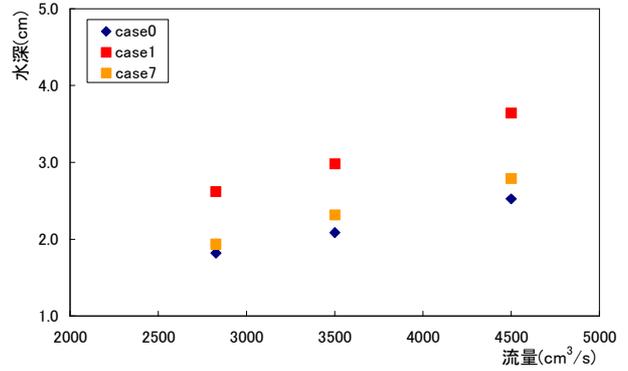


Fig.9. Relationship between the flow rates and the water depth (case0,1,7)

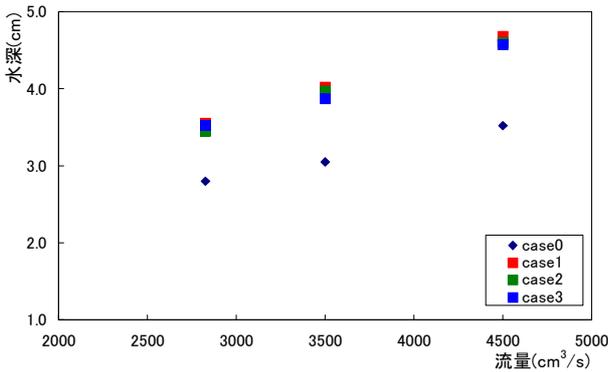


Fig.10. Relationship between the flow rates and the water depth (case0,1,2,3)

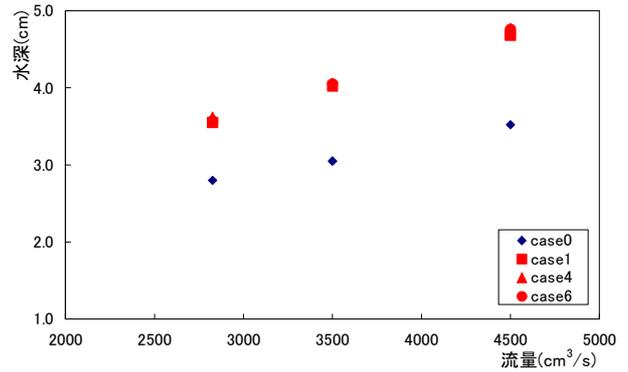


Fig.11. Relationship between the flow rates and the water depth (case0,1,4,6)

の水深の差が大きくなる傾向であった。

(b) 模擬植生による高水敷水深の比較 (case0, case1, case7)

流量 $2800\text{cm}^3/\text{s}$ 時、高水敷での水深の測定結果を Fig.8 に示す。横軸、縦軸、描点は、Fig.6 と同様である。

また、流量と高水敷水深の関係を Fig.9 に示す。横軸、縦軸、描点は、Fig.7 と同様である。

Fig.8 では、高水敷上の水深は複断面高さが 1cm であるため低水路水深より 1cm 低くなる。また、アクリルを用いた case7 で若干の水深の上昇が確認できる。

(c) 設置位置による比較

Fig.10 は、同幅の模擬植生の設置位置を変化させた場合の流量と水深の関係を示す。なお、計測断面は、上流から 500cm 地点で低水路水深を描点している。図中には比較のため、植生を設置していない case0 も描点している。

図中の結果は、市販マットの設置幅 2cm を 2cm ずつ低水路と高水敷の境界面より壁面に移動させて実験を行ったものである。どの設置位置においても case0 に比べ、植生の抵抗により水深が増加している。また、この水深の増加量は流量の増加にともない大きくなる。設置位置による水深の変化は見られず、設置幅を 4cm に変えた同様の実験でも同様であった。

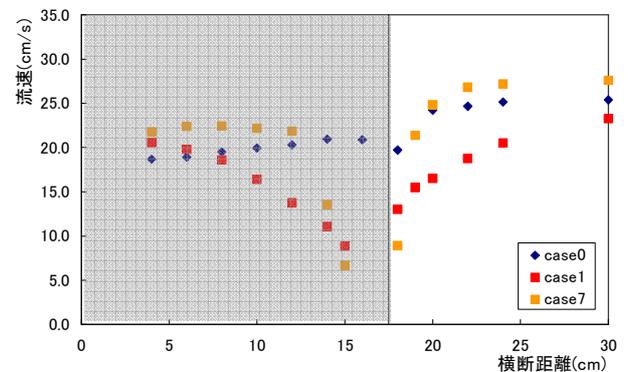


Fig.12. The flow velocity distributions in the spanwise direction (case0,1,7)

(d) 設置幅による比較

Fig.11 は、低水路と高水敷の境界面に幅の異なる模擬植生を設置した場合の、水深変化の比較を示す。なお、計測断面は、Fig.10 と同様である。図中には比較のため、植生を設置していない case0 もあわせて描点している。

模擬植生を低水路と高水敷の境に合わせて設置して、幅を 2cm ずつ増やして実験を行ったものである。設置幅を変化させても水深に与える影響は小さいことがわかる。

これらの知見は高水敷においても同様の結果となった。

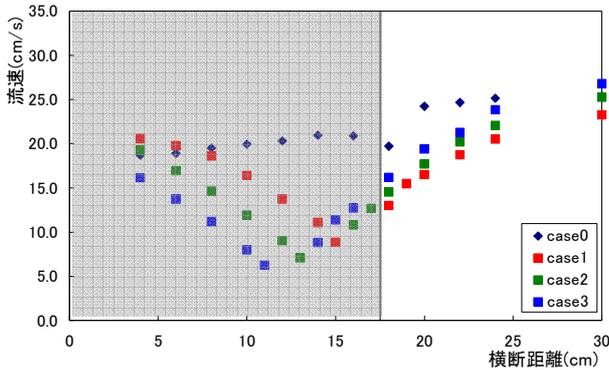


Fig.13. The flow velocity distributions in the span wise direction (case0,1,2,3)

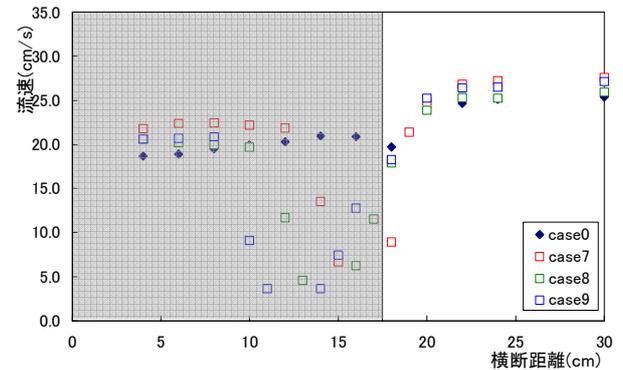


Fig.14. The flow velocity distributions in the span wise direction (case0,7,8,9)

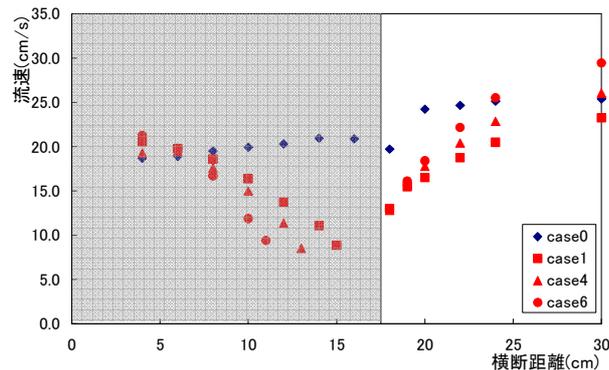


Fig.15 The flow velocity distributions in the span wise direction (case0,1,4,6)

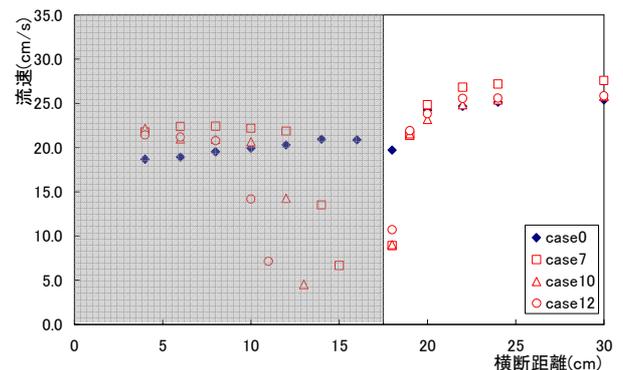


Fig.16. The flow velocity distributions in the span wise direction (case0,7,10,12)

(2) 流速の計測結果

(a) 模擬植生による比較

Fig.12 は、流量 $2800\text{cm}^3/\text{s}$ 時の水路横断方向の流速分布を示している。横軸、縦軸等は Figure 3 と同様である。図中の描点の違いは、模擬植生の違いである。あわせて、比較のため、模擬植生を設置していない case0 も描点している。

図から、市販マットを用いている case1 では、模擬植生に近づくにしたがって流速が小さくなるが、アクリルを用いている case7 では、case1 に比べ模擬植生付近で急速に流速が小さくなる。模擬植生付近の流速は、case1 に比べ case7 の方が小さくなる。

また、水路中央（横断距離 30cm）では case1 は case0 に比べ流速は遅くなるが、case7 は流速は早くなることが確認できる。しかし、水路壁側付近の流速は、case1, case7 とともに case0 に比べ大きな値となった。

なお、流量 $3500\text{cm}^3/\text{s}$, $4500\text{cm}^3/\text{s}$ でも流れの分布は同様であったが、水路中央での模擬植生による流速の違いは大きくなる。

(b) 設置位置による比較

設置位置による比較を Fig.13, Fig.14 に示す。図は、流量 $2800\text{cm}^3/\text{s}$ 時の水路横断方向の流速分布を示している。縦軸、横軸等は、Fig.12 と同様である。描点は、模擬植生の設置位置を変化させ

たときの流速の比較で、模擬植生幅 2cm のものを 2cm ずつ移動させて実験を行ったものである。Fig.13 は模擬植生に市販マットを、Fig.14 はアクリルの結果を示す。

Fig.13 の結果から、模擬植生に市販マットを用いた場合、模擬植生をはさんで水路壁側では各 case での流速の違いは、中央側に比べ大きく、その中でも最も大きくなったのは模擬植生を高水敷境に設置した case1 で、その大きさは模擬植生の設置のない case0 よりも大きいことが確認できる。

また、水路中央部では模擬植生を高水敷境から離して設置した case3 が最も大きくなっており、同様に case0 よりも大きくなっている。

これらの実験結果は、模擬植生からの距離に影響されていると考えられる。模擬植生付近では case1 の流速が最も大きく、模擬植生を移動させるごとに case2, case3 と流速は小さくなっていった。模擬植生幅 4cm のときも同様の現象であった。

Fig.14 の結果から、模擬植生にアクリルを用いた場合、模擬植生をはさんで水路壁側では各 case での流速の違いは小さく、中央側と同程度であった。また、模擬植生を設置していない case0 の流速よりすべての case で流速が大きいことが確認できる。

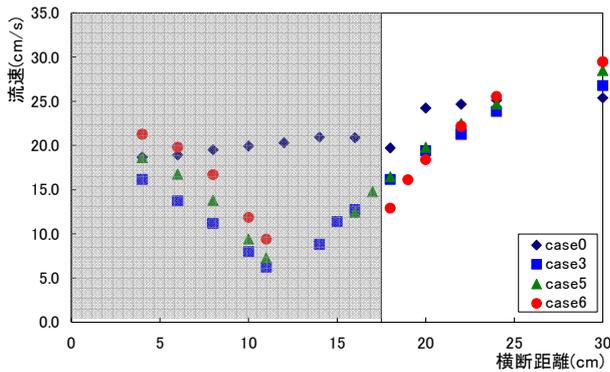


Fig. 17 The flow velocity distributions in the span wise direction (case0,3,5,6)

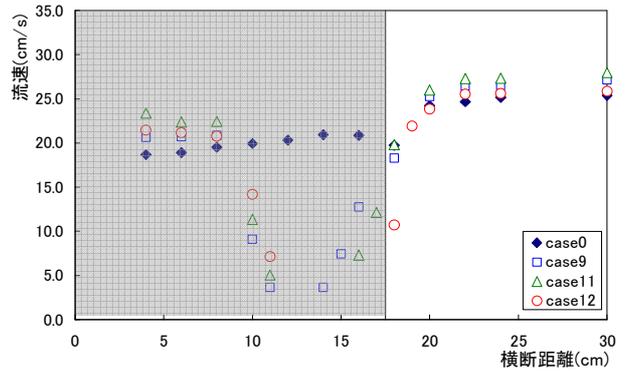


Fig. 18. The flow velocity distributions in the span wise direction (case0,9,11,12)

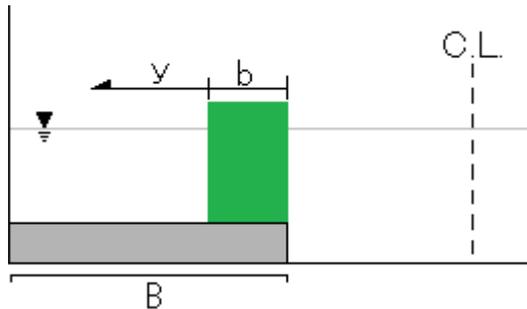


Fig. 19. Explanation of the symbols

(c) 設置幅による比較

設置幅による比較を Fig. 15, Fig. 16 に示す. 図は, 流量 $2800\text{cm}^3/\text{s}$ 時の水路横断方向の流速分布を示している. 縦軸, 横軸等は, Fig. 12 と同様である. 描点は, 模擬植生の設置幅を 2cm ずつ拡大させたときの流速の比較である. Fig. 15 は模擬植生に市販マットを, Fig. 16 はアクリルの結果を示す.

Fig. 15 の結果, 模擬植生に市販マットを用いた場合, 模擬植生付近での流速は各 case による差がほとんどなかった. しかし, 模擬植生幅が拡大されるにしたがい, 流速の増加率が大きいことが確認できる. これは模擬植生幅による水の流れる面積への影響と考えられる. このとき壁側付近の流速はすべての case で植生を設置していない case 0 よりも大きくなる. また, 水路中央部の流速は, 各 case による差異が見られた.

Fig. 16 の結果, 模擬植生にアクリルを用いた場合, 水路中央部・水路壁側での各 case の差異は見られない.

設置位置と設置幅を変化させた比較を Fig. 17, Fig. 18 に示す. 図は, 流量 $2800\text{cm}^3/\text{s}$ 時の水路横断方向の流速分布を示している. 縦軸, 横軸等は, Fig. 12 と同様である. 描点は, 模擬植生の設置位置を模擬植生を低水路と高水敷の境から 6cm の位置に合わせて設置してから, 幅を 2cm ずつ増やして実験を行ったものである.

Fig. 17 の結果, 模擬植生に市販マットを用いた場合, 模擬植生付近での流速は, その幅が大き

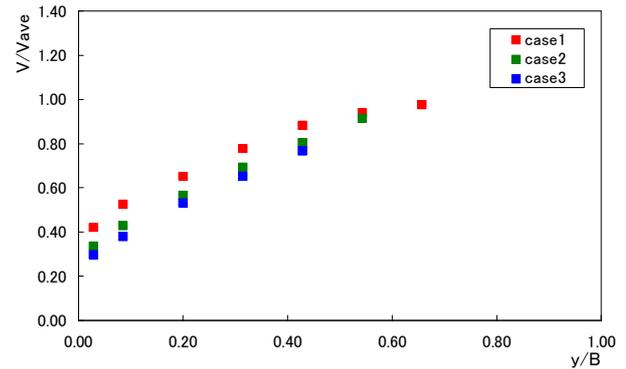


Fig. 20. Relationship between y/B and V/V_{ave} (case1,2,3)

なるにしたがって流速も大きくなり, 模擬植生から離れるにしたがって, その増加率も大きくなっている.

また, 水路壁側での流速は植生幅の小さい case 3 が遅く, 植生幅の大きい case 6 が速いことが確認できる. なお, case 6 のみ模擬植生のない case 0 の流速よりも大きくなる.

水路中央側の流速は, すべての case で case 0 よりも大きくなることが確認できる.

Fig. 18 の結果, 模擬植生にアクリルを用いた場合, 模擬植生幅による水路中央部での差異は見られるが, 各 case とも同様の流速分布となった.

(4) 流速の無次元化

ここでは, 設置位置, 設置幅による流速に差異のあった case 1~case 6 について検討を行う.

Fig. 19 に無次元化するための記号の説明を示す. 図中の y は模擬植生端から水路壁側へ向かっての長さを示し, b は模擬植生幅, B は高水敷幅を示す.

Fig. 20 は, 模擬植生の設置位置による違いの無次元表示である. 横軸に y/B , 縦軸に V/V_{ave} を用いている. ここで, y/B は植生から壁面への距離の無次元量であり, V/V_{ave} は流速の無次元量となる. なお, V_{ave} は測定位置 y における case 0 の断面平均流速である.

Fig.20 から、 y/B に対する $V/Vave$ は設置位置が高水敷と低水路の境から離れているとき (case2, case3) はほぼ同じ値であるが、設置位置が高水敷と低水路の境にあるときは若干大きな値となった。設置幅 4cm の設置位置についても、流量を変化させても同様の結果であった。

また、case1 に比べ case2, case3 の値が低減していることから、模擬植生位置により高水敷流れと低水路流れの混合による運動量輸送の影響を受ける幅が大きくなったと考えられ、流水抵抗が増加したと考えられる。

Fig.21 は模擬植生の幅を変化させたときの流速の比較である。

Fig.21 から y/B が 0 付近では $V/Vave$ の値は設置幅による差がないことが確認できる。しかし、 y/B が大きくなると、 $V/Vave$ は設置幅が広がるほど大きくなった。また、流量が増すとどの設置幅においても y/B に関係なく、 $V/Vave$ はほぼ同じ値となった。

(5) 摩擦損失係数

植生による抵抗特性を表す指標として、式(1)、(2)から求められる摩擦損失係数 f を採用する。

$$Q = \frac{A}{n} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$f = \frac{8gn^2}{R^3} \quad (2)$$

ここで、 Q : 流量 (m^3/s)、 A : 断面積 (m^2)、 n : Manning の粗度係数、 R : 径深 (m)、 I : 河床勾配、 g : 重力加速度 (m/s^2)

Fig.22 に流量 $2800cm^3/s$ のときの b/B と摩擦損失係数 f の関係を示す。横軸は b/B 、縦軸は摩擦損失係数 f で対数をとっている。

模擬植生を設置していない case0 と模擬植生にアクリルを用いた case7~case12 の摩擦損失係数 f の値は同程度となった。しかし、それらの設置位置や幅による差異は見られない。

模擬植生に市販マットを用いた case1~case6 での摩擦損失係数 f の値は case0 よりも大きな値となった。しかし、設置位置や幅による大きな差異は見られない。

4. おわりに

直線複断面水路に模擬植生を設置し、その抵抗特性を実験により検討を行った。その結果を以下に示す。

1) 透過性のある模擬植生では、その植生抵抗に

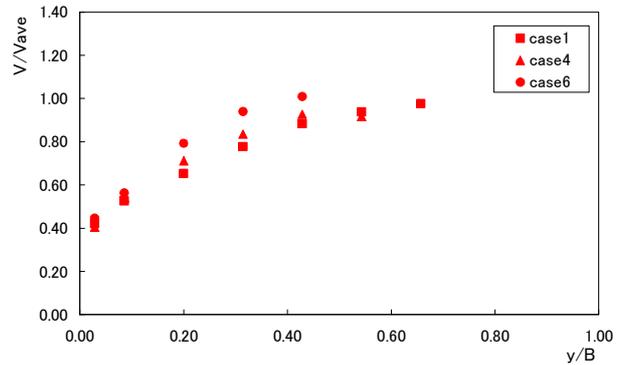


Fig.21. Relationship between y/B and $V/Vave$ (case1,4,6)

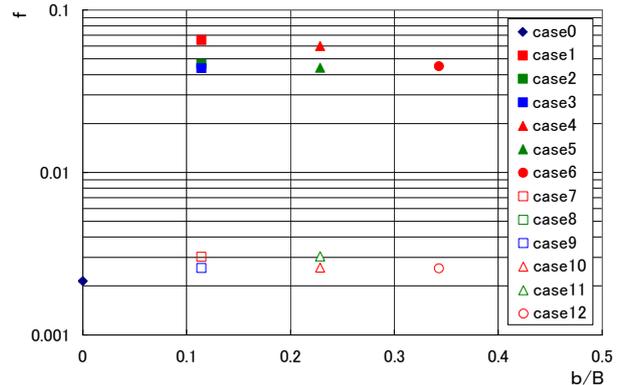


Fig.22. Relationship between b/B and f ($Q=2800cm^3/s$)

より水深の増大が確認できた。この水深の増大は流量により大きくなるが、設置位置や設置幅による差異は見られない。不透過の模擬植生では、模擬植生のない場合と同程度であったが、流量の増大によって若干水深が大きくなる。

2) 透過、不透過に関わらず模擬植生付近で流速が低減される。透過する模擬植生では、設置幅が同程度ならば設置位置が低水路と高水敷の境界面に合わせたほうが、流速の復元がはやく、境界面から離れるほど、その復元が遅いことが確認できた。また、模擬植生付近では設置幅による影響が小さく、流量が大きくなると設置幅のその効果は一定となることが確認できた。不透過の模擬植生では、模擬植生付近では大幅な流速の低減が期待できるが、水路中央部で流速が増大することが確認できた。

3) 模擬植生の設置位置、設置幅に影響されず、どの case においても摩擦損失係数は一定であった。摩擦損失係数の違いは模擬植生の違いによるものであり、不透過の模擬植生は設置していない場合と同様であった。

以上、本研究で行った実験条件下では、設置位置、設置幅を変化させても模擬植生が与える水深・抵抗特性にはそれほど影響せず、模擬植生の

有無により差のみであった。しかし、流速の分布に関してだけ模擬植生の設置位置、設置幅が影響しているものとなった。

- 2) (財)リバーフロント整備センター編：河川における樹木管理の手引き
- 3) 福岡捷二 著：洪水の水理と河道の設計法

参考文献

- 1) 土木学会 編：水理公式集[平成 11 年版]

(平成 19 年 12 月 27 日受理)