C101

P T V 計測に基づく植生水制河道部の水理特性に関する考察

相原昭洋(東北工業大学)[○], 阿部至雄(東北工業大学), 及川智宏(東北工業大学大学院)A Consideration on Hydraulic Characteristics of Vegetative Groins
using the PTV-technique

Akihiro AIHARA, Tetsuo ABE and Tomohiro OIKAWA

ABSTRACT

This paper reports the application of a PTV-technique to the measurement of flow velocity in the open-channel with vegetation. The features on the local hydraulic characteristics of flows around the vegetative groins are discussed through the hydraulic experiments. It is shown that the vegetative groin work, which was made of vegetation as a part of river training works, has the basic function as groin work on reducing the velocity inside the groin region and on splashing water toward the main flow. The effects on splashing water and reducing the velocity depend on vegetative compactness. Consequently, the present vegetative groin work seems to function well as habitats for the aquatic life, because the areas of low flow velocity are formed inside the groin region, which shifts locally with change of the vegetative compactness of groin and its angle.

Keywords: PTV, Vegetative groin, River environment, River training work

1. はじめに

水制工は、本来、流速を減少させる効果と流水の向きを変える水捌ね効果によって河岸の負担を軽減し、流水による河岸洗掘を防止する治水構造物である。他方、水制群周辺の河川敷が多様な水辺空間を構成し、水生生物に良好な生息空間を提供している。近年の河道計画には、治水上の安全性の確保に加え、生物の良好な生息、生育環境といった環境形成機能の確保が求められているため、それらの機能を兼ね備えた水制工が河川環境改善の一工法として注目されてきている¹⁾。透過型植生水制は河岸に繁茂する植生を構造材に利用することが可能であり、しかも植生密集度を変化させることで水制域内に多様な流れ場が創出できることなど、不透過型水制工に比べ環境形成機能の面で有利であると考えられる^{2), 3)}。

本研究は、河川環境の改善を目的とした河川改修策の一環である植生水制河道部の流れ場を対象に、水制域内部に生じる流速場の水理特性について把握することを目

的としている。そこで、植生水制の密集度と設置角度を変化させた場合に生じる河道部の流速場の計測に際し、PTV可視化技術を適用し、植生水制河道部の水理特性について水捌ね効果と減速効果の観点から考察した。

2. 実験方法の概要

実験装置を含む流れ場の模式図と座標系を Fig. 1 に示した。実験は、長さ 10m、幅 0.6m、河床勾配 1/1000 の勾配可変型 2 次元開水路を使用し、その左岸水路床の上にプラスチック製の多孔質体 (kk 田中製、不織布 P-5-400) を用いた模擬植生水制を 2 基設置して行った。模擬植生水制は、長さ $l=12\text{cm}$ 、幅 $b=5\text{cm}$ 、高さ $h=9\text{cm}$ とし、水制間隔は $s=30\text{cm}$ である。なお、座標系は流下方向に x 軸を、水路横断右岸方向を z 軸とし、座標原点は水制域と主流域の境界に沿う水制域中央の水路床上とした。

Table.1 に実験条件を示した。実験時の流れの状態は常流 ($Fr < 1$)、非水没水制 ($h/H > 1$) である。この水理条件下で、植生の空隙率 $d=95\%$, 88% , 84% の水制に対し、設置角度を $\alpha=15^\circ$, 0° , -5° に変化させて実験を行った。

3. 可視化方法および P T V 解析の概要

可視化計測は、植生水制域を上流側水制、水制域中央及び下流側水制の小水域に区分し、各水域の深さ $y=0.4H$ の水平面に厚さ約 3mm のレーザーシートを照射し、水路上方に設置した CCD カメラで約 10 分間実施した。可視化計測の精度は^{4), 5)}、可視化範囲やレーザ粒子の選定

Fig.1 Experimental setup

に依存するが、水制間領域の流れ場全体の流況を定量的に計測する必要性から、可視化範囲($x \times z$)を(35cm $\times$ 35cm)とした。また、トレーサ粒子は流動に対する追従性と視認性について検討した結果、粒径 250 $\sim$ 420 μ m、比重 1.02 のナイロン粒子を用いることとした。解析に使用する画像は、録画されたアナログ画像からトレーサ粒子数 140 $\sim$ 170 個を目安に分布状態の最も良い 60 秒間の画像を選定してレーザービデオディスクに貯留した。PTV 解析のアルゴリズムには 4 時刻粒子追跡手法を採用し、流速の算出は 1/30sec で抽出した 1800 フレームのデジタル画像に対して実施した。この時の画像の空間解像度は約 0.7mm/pixel である。

4. 実験結果および考察

4.1 植生水制の水捌ね効果

植生水制の水制機能を示す一例として Fig.2 に、横断方向の時間平均流速 W の水平分布をケース A4D1 の場合について示した。図中の白抜きの部分が植生水制を示し、流速は水制域から主流域方向に向かう流れを正とした。同図によれば、時間平均流速 W は、上流側水制頭部から主流域中央に広がる分布を示し、植生水制の水捌ねによって、上流側水制頭部から主流域に向かう流れが生じている。また、下流側水制でも水捌ね効果は認められるが、その効果は上流側水制に比べて小さい。これらの特性は全ての実験ケースに見られ、植生水制が水制本来の水捌ね効果を有することが確認された。

次に、設置角度をパラメータとして、上流側水制頭部に生じる横断方向流速の最大流速 $W_{\max}$ と植生の空隙率 d との関係を図 3 に示した。図によれば、上流側水制頭部で発生する $W_{\max}$ の値には設置角度の違いによる大きな差異は見られず、設置角度の違いが水捌ね効果に寄与する割合は小さいと言える。しかし、空隙率が小さいほど、即ち、植生の密集度が密なほど主流方向に向かう流れは強く、植生の空隙率が大きい $d=95\%$ に比べ、空隙率が小さい $d=84\%$ では 2 倍ほど $W_{\max}$ の値は大きく、水捌ねの規模は植生の空隙率に依存しているのが分る。

Fig.4 に上流側水制背後の流量 Q_{go} と水制前面の流量 Q_{gi} の比を示した。図から、流量比と植生の空隙率 d には一義的な関係が見られ、空隙率が小さいほど流量比は小さくなるのがわかる。また、水制前面から水制を通過して水制域へ流入する流量 Q_{go} は水制前面の流量 Q_{gi} の約 0.35 $\sim$ 0.7 である。これらは前述した水捌ね規模の結果と符合しており、植生の密集度が密なほど水流は水制前面から主流域へ水捌ねされ、その結果、 $d=84\%$ では、水制を通過し水制域に流入する流量は $d=95\%$ の 1/2 程度になる。しかし、植生密集度が密な場合でも水制域内の流量は確保されており、水質保全の観点から植生水制は有効であることが分る。

Fig.5 は、水制域と主流域の境界 ($z/l=0$) の時間平均流速 W を上流側水制と下流側水制の開口部に沿って設置

Table 1 Experimental conditions

Case	α ($^\circ$)	d (%)	Q (cm ³ /s)	H (cm)	h/H	Fr
A1D1	15	95	6690	4.78	1.9	0.34
A1D2		88	6990	4.89	1.8	0.34
A1D3		84	6870	4.67	1.9	0.36
A4D1	0	95	6730	4.82	1.9	0.34
A4D2		88	7020	4.67	1.9	0.37
A4D3		84	6730	4.75	1.9	0.35
A5D1	-5	95	6800	4.80	1.9	0.34
A5D2		88	7060	4.81	1.9	0.36
A5D3		84	6870	4.77	1.9	0.35

$$Re=(U_0R)/\nu \quad Fr=U/(gH)^{1/2} \quad U_0=Q/(HB)$$

Fig.2 Horizontal distributions of time-averaged spanwise velocity W at $y/H=0.4$ ($d=95\%$, $\alpha=0^\circ$)

Fig.3 The relationship between maximum spanwise velocity W and void of vegetation d

Fig.4 The ratio of flow rate Q_{gi}/Q_{go} vs. the void of vegetation d

角度毎に示したものである。同図(a)の上流向き水制の結果によれば $d=95\%$ の場合、開口部全域で時間平均流速 W は他のケースより大きく、特に開口部上流端で主流域に向かう流れが強い。しかし、密集度が密になると流速は急速に減少し、開口部中央付近では主流域に向かう流れは殆んど生じなくなるが、開口部下流端に至ると下流側水制の水捌ね効果によって主流域側への流れが生じている。同図(b)の $\alpha=0^\circ$ では、上流側水制背後($x/s \approx -0.2$)で $d=95\%$ と $d=88\%$ の流速は共に低減しているのに対し、密集度が最も密な $d=84\%$ では流速が増大している。これには、上流側水制背後に発生する剥離渦が関与していると考えられ、 $d=84\%$ に見られる水制背後の流速の増大は剥離渦の連行作用によるものと思われる。また、 $d=88\%$ の場合、上流側水制背後で生じる剥離渦は $d=84\%$ の場合より弱い、その剥離渦の影響はむしろ開口部下流側で認められ、流速に及ぼす影響は $d=84\%$ の場合よりも大きい。このような剥離渦の影響は同図(c)の下流向き水制の密集度の密な $d=84\%$ についても同様であり、開口部中央付近から下流側で流程と共に平均流速 W は増大し、下流側水制前面で剥離渦と水捌ねの相互作用により横断方向の流れは更に強くなっているのが分る。

4.2 植生水制の減速効果

Fig.6 及び Fig.7 に、流下方向の時間平均流速 U の水平分布を植生の空隙率 $d=95\%$ 及び $d=84\%$ の場合について示した。Fig.6 から、水制は透過性であるため、上流側水制背後の水制域内には循環流や死水域は何れのケースでも形成されていないことが分る。しかし、水制の設置角度の違いによって、水制域内($z=0 \sim -12\text{cm}$)に形成される低流速の領域が異なる。即ち、同図(a)の設置角度が上流向き $\alpha=15^\circ$ の場合、上流側水制背後から下流側水制頭部に向かう流れが支配的で、流速 10cm/s 以下の低速域は、水制域奥部の左岸付近に形成される。同図(b)の水制の角度が左岸に対して垂直な $\alpha=0^\circ$ では、水制域中央($z=-6\text{cm}$)の下流側水制前面に低速域が生じている。また、

Fig.5 Variation of spanwise velocity W along the mouth of vegetative groin $z/l=0.0$

Fig.6 Horizontal distributions of time-averaged streamwise velocity U at $y/H=0.4$ ($d=95\%$)

(a) $\alpha=15^\circ$ (b) $\alpha=0^\circ$ (c) $\alpha=-5^\circ$
Fig.7 Horizontal distributions of time-averaged streamwise velocity U at $y/H=0.4$ ($d=84\%$)

同図(c)の下流向き水制 $\alpha=-5^\circ$ の場合では、水制域奥部左岸で流れが速く、低速域は水制域と主流域の境界付近 ($z=0\text{cm}$) に形成されることが分る。

次に、Fig.7 によれば、植生密集度が密 (空隙率 $d=84\%$) になると、植生密集度が疎 (空隙率 $d=95\%$) の場合に比べ、水制域内全域で流速は減速し、逆に、主流域では流速は増大し、せん断流れの規模も拡大している。また、水制域内に生じる低流速の領域は、上流向き水制と垂直水制に対する同図(a),(b)の結果から分るように、植生密集度が疎な場合に比べ、下流側水制頭部前面の主流域と水制域境界付近に移動している。特に上流向き水制の場合に低流速域の移動が顕著である。これらの点は、不透過性水制の傾向とは異なる透過性水制の特性であると思われる。一方、同図(c)によれば、下流向き水制では密集度の変化による低流速領域の局所的なシフトは見られない。しかし、他のケースに比べ水制域内の流速は相対的に小さく、下流側水制頭部前面付近の流速低減が著しい。

Fig.8 に、水制域内と主流域の流速比を空隙率 d と共に示した。 U_g は水制域内中央 ($x/s=0$) の流速分布より求めた断面平均流速を示し、 U_M は主流域の一様流速部分の流速である。図によれば、水制の設置角度の違いが流速比 U_g/U_M に及ぼす影響は小さい。しかし、流速比は植生の密集度が密になるほど減少することが分る。即ち、植生密集度を変化させることで、水制域内の流速を主流域流速の $15\sim35\%$ 程度に減速させることが可能である。

4. おわりに

本研究では植生水制の植生密集度と設置角度に着目し、その水制機能と環境形成機能を検討するため PTV 可視化計測を適用し、植生水制河道部の水理特性を水側ね効果と減速効果より検討した。得られた結果を列挙する。

(1) 植生水制は治水上必要な水制工本来の水側ね効果や減速効果を有し、その水側ね規模や減速効果は植生密集度に依存する。

Fig.8 The ratio of velocity inside the groin region to that of the mainstream region U_g/U_M vs. the void of vegetation d

(2) 上流向水制 ($\alpha=15^\circ$) 及び垂直水制 ($\alpha=0^\circ$) の場合、水制域内に形成される低流速域が植生密集度の変化に伴い局所的にシフトする。

(3) 植生水制帯を透過し水制域内へ流入する流れが生じるので、水制域内外の流水交換が期待できる。

参考文献

- 1) 中川研造、河原能久、玉井信行：ワンド内流れの水理特性に関する実験的研究、水工学論文集、第 39 巻(1995)pp.595-600.
- 2) Zhu Z. L., Aihara A., Abe T. and Numata A.: Characteristics of Turbulent shear flows near the vegetated zone with an embayment, the 11th Cong. of APD-IAHR, Vol.2(1998) pp.547-556.
- 3) Sugawara K., Abe T., Aihara A. and Takahashi T.: "A Study on Hydraulic Characteristics of Vegetative Groins", the 13th Cong. of APD-IAHR, Vol.1(2002) pp.109-114.
- 4) Abe T., Aihara A. and Hiraya Y.: Turbulence measurement using the PTV-technique in imitative compound open-channel flows with vegetated zone, Proc. of 1st Pacific Symp. on FVIP, Vol.1 (1997)pp.367-372.
- 5) 相原昭洋、阿部至雄、猪岡尚志: PTV 可視化計測に基づく植生ワンド河道部に生じる流速変動の時系列解析、可視化情報学会誌、Vol.21, Suppl. No.1(2001) pp.79-82.