様々な植生配置における開水路流の乱れ構造と動圧力の空間勾配分布

豊田工業高等専門学校　学生会員　○久保　樹央土
豊田工業高等専門学校　正会員　　田中　貴幸

1.　研究背景と目的

愛知県の新郷瀬川では河川整備に際し，環境水制工を並列状または千鳥状に設置して側岸凹部を形成し，流水の交換が促進される領域を創出している．しかし，それらの工法が流れの抵抗特性や乱流構造に与える影響については検討がなされていない．その中で田中ら[1)]は，並列や千鳥状といった様々な植生配置での開水路流れの抵抗特性を実験的に解明した．しかしながら，乱流構造や動圧力の空間勾配などの流動機構に与える影響については検討が不十分である．

そこで本研究では，流下方向に不連続的植生群落を有する開水路流れにおいて，植生群落の配置の違いが乱れ特性や動圧力の空間勾配といった流動機構に与える影響について検討する．

2.　実験条件

全長 10m，幅 40cm，高さ 25cm の循環式可変勾配水路を用い，実験を行った．実験条件を**表-1** に示す．植生帯の模型にはプラスチック板にナイロンブリュウスルを貼り付けたものを使用した．**図-1** に植生の配置パターンを示す．流速の点計測には I 型電磁流速計を用いた．電磁流速計におけるデータのサンプリング周波数は 100Hz で，サンプリングデータ数は 4,096 とした．

図-2 に田中ら[1)]の研究により明らかになった各植生配置パターンにおける流量と水深の関係を示す．いずれの流量においても水深は P2 が最も大きくなり，次に P1，そして P3 が最も小さくなる結果となった．ここで，非越流状態について検討するため，Q=4l/s に注目し，P1, P2 における流動機構について検討していく．

表-1　実験条件

配置パターン		流量Q(l/s)	模擬植生帯の密度λ(本/cm²)	植生直径 d(mm)	植生高 H_v(cm)	水路勾配I
P1	並列配置	4	4	0.242	6	1/1,000
P2	千鳥配置					
P3	片岸配置					

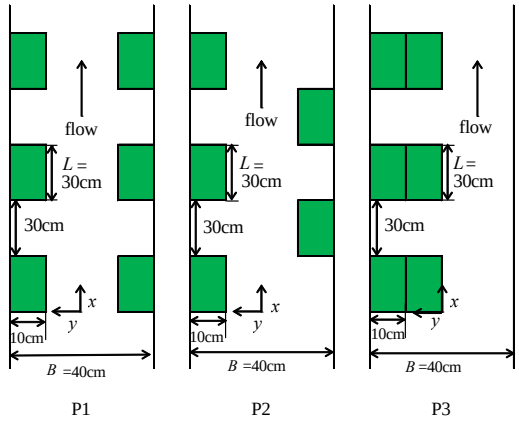


図-1 植生の配置パターン

3.　境界付近における流れ構造

図-3 に主流部と凹部および植生帯境界付近の半水深にて計測した横断方向流速 V の流下方向変化を示す．P1 および P3 は類似の流速分布を示しているのに対し，P2 は V の極大値と極小値の差が他の植生配置と比べ，大きいことが確認できた．**図-4** に全運動量輸送量の流下方向変化を示す．最大値は P1 が最大となり，次いで P2，P3 という結果になった．しかし P1 と P2 は両岸に植生があることからこれらの値を 2 倍で算定しなければならない．よって，P2 の全運動量輸送量が最も大きいことが確認できた．

4.　水平面における動圧力の空間勾配

流下方向におけるレイノルズ運動量方程式において，

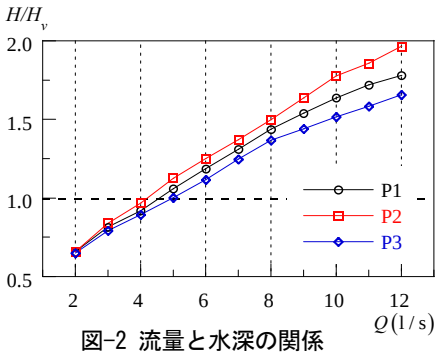
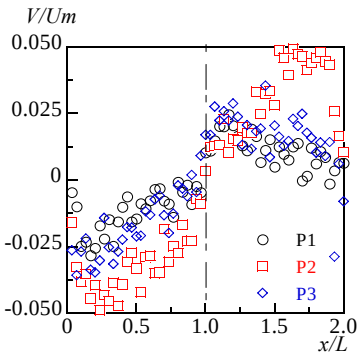
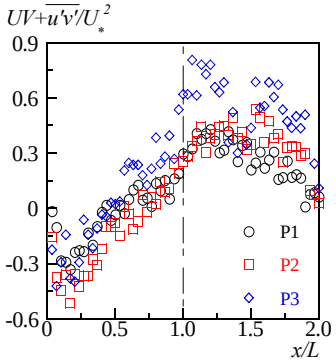


図-2 流量と水深の関係



図－3　横断方向流速の流下方向変化



図－4　全運動量輸送量の流下方向変化

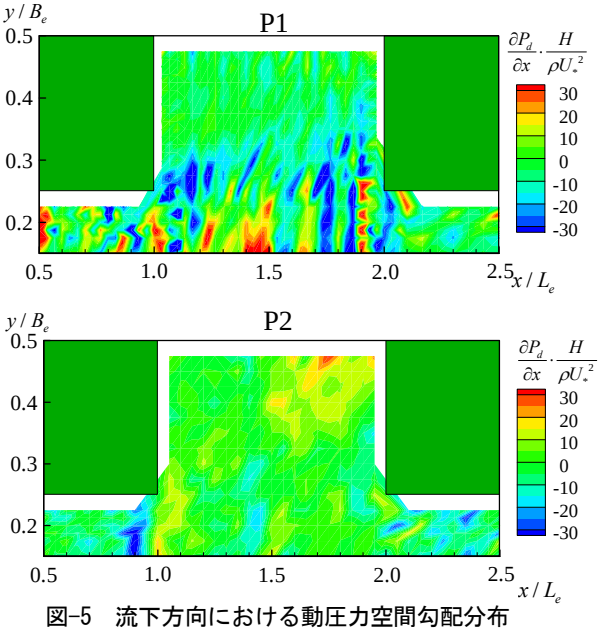


図-5　流下方向における動圧力空間勾配分布

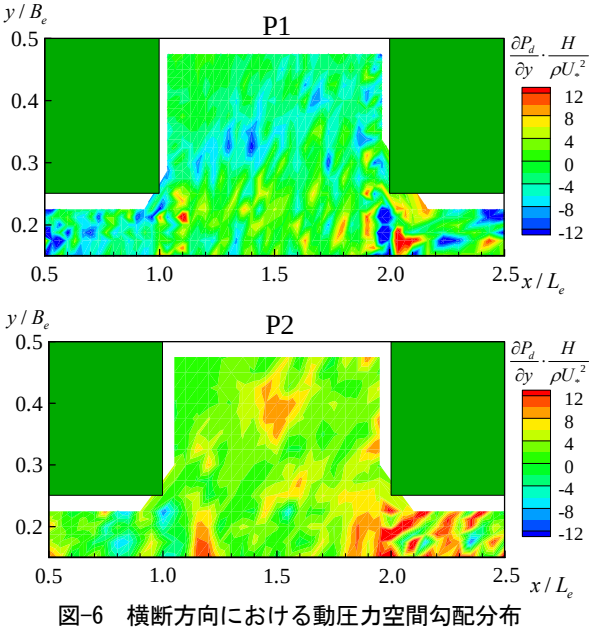


図-6　横断方向における動圧力空間勾配分布

鉛直方向に一様な流れ場を仮定するとともに粘性項は無視し得るとすると，

$$\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x}=-\frac{\partial\left(U^2+\overline{u'^2}\right)}{\partial x}+U\frac{\partial U}{\partial x}-\frac{\partial\left(UV+\overline{u'v'}\right)}{\partial y}+U\frac{\partial V}{\partial y}+F_x$$

$$=\frac{1}{\rho}\frac{\partial P_d}{\partial x}+F_x \qquad (1)$$

と表される [2]．ここに，P は総圧，P_d は動圧であり，外力 F_x は重力を考慮し，$F_x=g\sin\theta$ となる．横断面も同様とし，F_y は重力を考慮すると 0 となる．水平面においては，静水圧は同一の値をとるため，動圧の空間勾配分布をみることで圧力分布を推測していく．

図-5 に各配置パターンおける動圧の流下方向の空間勾配 $\partial P_d/\partial x$ を，**図-6** に横断方向の空間勾配 $\partial P_d/\partial y$ を等値線で表す．動圧は U_*^2/H で無次元化している．いずれも主に左岸側凹部周辺に注目する．

P1 の $\partial P_d/\partial x$ に注目すると，主流部と凹部の境界付近では全体的に負の値を示し，流下方向に向かう流れが促進されている．また，凹部内の下流側において，$\partial P_d/\partial x$ が負の小さな値を示しており，植生帯による水衝部としての動圧力への影響は小さいことが見てとれる．$\partial P_d/\partial y$ に注目すると，凹部上流側の主流部と凹部の境界付近では負の値を示すため凹部へ向かう流れが促進され，凹部中央から凹部下流にかけては左岸に向かう流れが促進される様子が伺える．

P2 の $\partial P_d/\partial x$ に注目すると，凹部内においては下流側左岸付近で正の値を示し，逆流の発生を促していることが認められる．$\partial P_d/\partial y$ では，凹部上流側の主流部との境界付近で負の値を示すため凹部内へ向かう流れが促進され，凹部下流側では正の値を示すことから凹部から主流部へ向かう流れが促されている．また，凹部内においては P1 と異なり，凹部中心から凹部下流にかけて $\partial P_d/\partial y$ が正の値を示しており，凹部から主流部に向かう流れが促進されている．これは千鳥配置のためで流れが蛇行し，凹部上流側では凹部内に向かう流れが発生するとともに，凹部下流側では左岸側の側岸と植生帯が水衝部として働くことにより凹部から主流部に向かう流れが促進されるためだと考えられる．

これらにより，植生帯の配置の違いにより動圧力の空間勾配分布が異なることで流れの抵抗特性や乱流構造に影響を与えていることが示唆された．

5. おわりに

本研究では透過性の不連続的側岸凹部を有する開水路流れに関して，流れの抵抗特性や流動機構について確認した．それにより，植生帯の並列配置に比べ千鳥配置にて流れの抵抗が大きくなることを明らかにするとともに，その抵抗特性を流速ベクトルや動圧力の空間勾配により説明した．

【参考文献】

1) 田中貴幸，大本照憲，古川和樹：側岸凹部を有する種々の植生配置条件における開水路流れの抵抗特性と乱流構造，土木学会論文集 B1（水工学），Vol. 71，No.4，pp.I_1045-I_1050，2015.

2) 田中貴幸，大本照憲：透過性および不透過性の凹部流れにおける抵抗特性と流動機構，土木学会論文集 B1（水工学），Vol.68，No.4，pp.I_805-I_810，2012.