

## 縦棧粗度を有する開水路流れの 吸込み操作に伴う流れ場の特徴

徳山高専 学生会員 ○北川 貴崇  
正会員 渡辺 勝利  
正会員 宇根 拓孝

### 1. 目的

壁乱流には様々な組織構造が形成されることが知られている。中でも縦渦構造は乱れの生成に主要な役割を果たしていることから、それを制御することにより摩擦抵抗軽減を可能にする乱流制御の試みが精力的に進められている。

本研究の目的は、壁乱流において縦渦構造の形成領域を縦棧粗度上に集中させ、その吸込み操作に伴う流れ場の特徴を明らかにすることである。この知見の集積は、境界層の制御を可能にし摩擦抵抗軽減に繋がると考えられる。

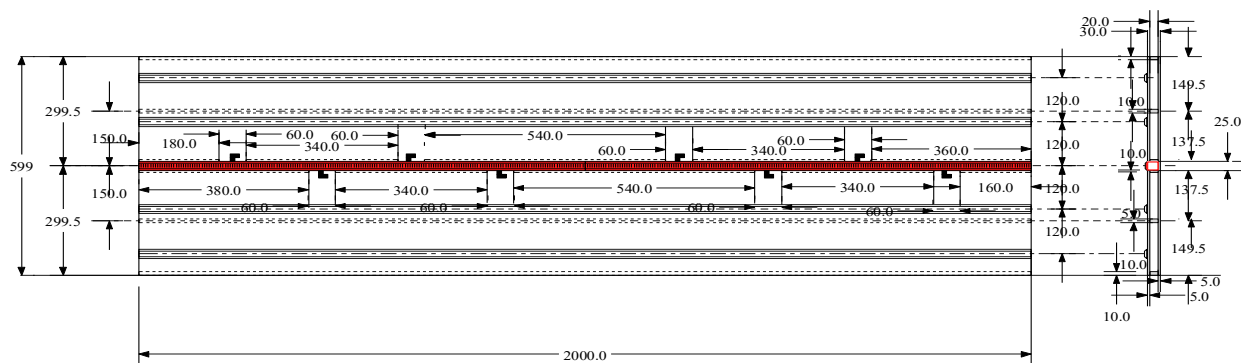


図-1 棧粗度模型図

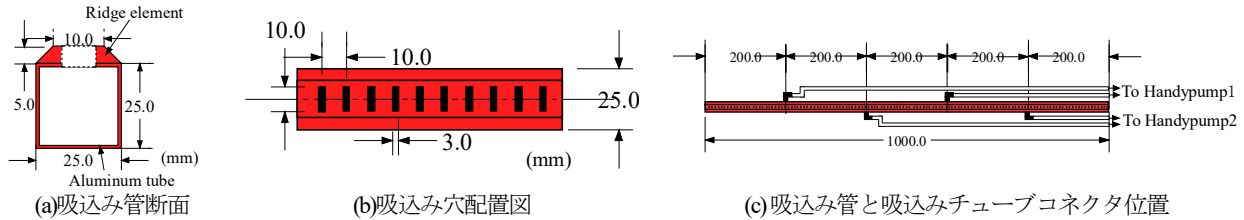


図-2 吸込み装置詳細

表-1 実験条件

Case	Q(cm <sup>3</sup> /s)	H(cm)	Um(cm/s)	Re(UmH/ν)	Fr(Um/(gH) <sup>0.5</sup> )	Qv(cm <sup>3</sup> /s)	Vv(cm/s)	適用
A	3957.2	6	10.992	5482.294	0.14335	940.94	5.2	吸込み操作有 水平PTV
B	3957.2	6	10.992	5482.294	0.14335	0	0	吸込み操作無 水平PTV
C	3070.8	6	8.530	4300.84	0.11124	942.78	5.2	吸込み操作有 縦断・横断可視化
D	3070.8	6	8.530	4300.84	0.11124	0	0	吸込み操作無 縦断・横断可視化

### 2. 実験装置および方法

実験には、長さ10m、幅60cm、高さ15cmの直線開水路を使用した。本水路床上に長さ2m、幅59.9cm、厚さ3cmの棧粗度模型を3基設置した。その棧粗度模型の詳細を図-1に示す。模型上には5列の棧粗度を設置した。棧粗度は台形（上底1.5cm、下底2.5cm、高さ0.5cm）であり、横断方向の設置間隔は12cmとした。5列の棧粗度の中央の1つに吸込み機能を有している。図-2には吸込み機能付きの棧粗度の詳細を示している。吸込み装置は、塩ビ樹脂板で作られた棧粗度と2.5cm四方の矩形アルミ管を合成して作られている。吸込み穴は幅3mm、長さ10mm、10mm間隔で開けられている。吸込み装置には20cm間隔で、吸込み用のチューブコネクタが取り付けられ、ハンディポンプと繋がられている。

**Key Words :** longitudinal ridge element, open channel flow, suction operation, longitudinal vortex, PTV,

連絡先 〒745-8585 山口県周南市学園台3538 徳山工業高等専門学校 TEL 0834-29-6200

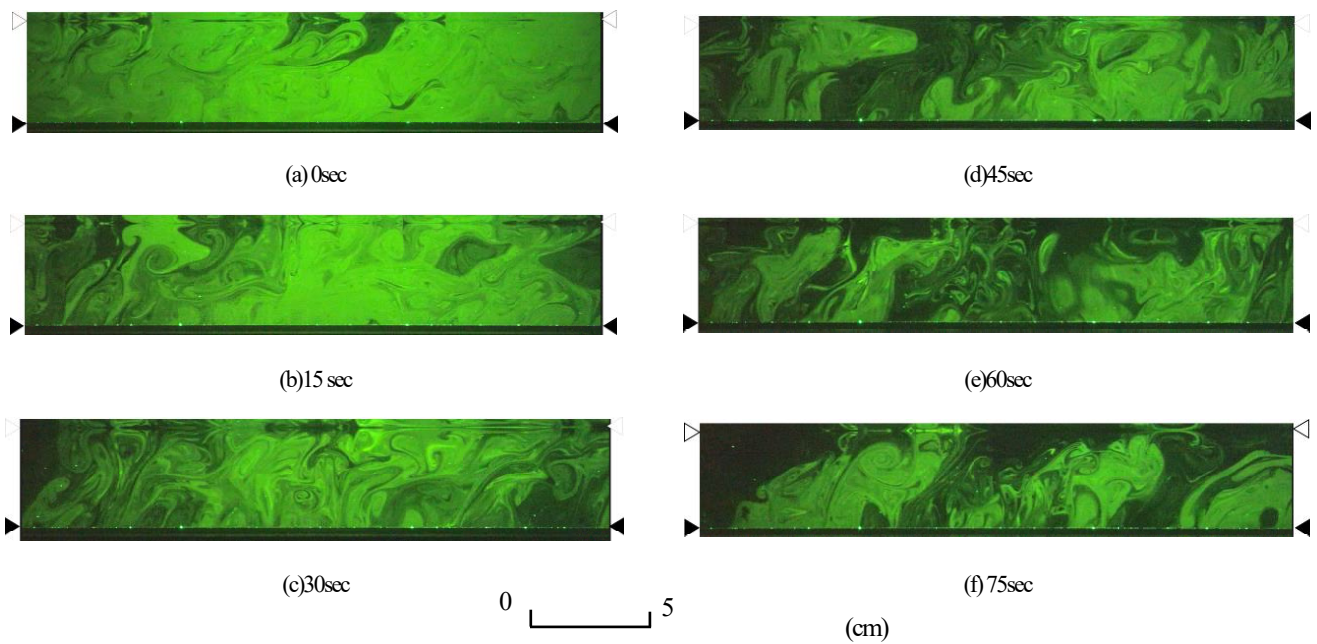


図-3 吸込み操作に伴う縦断面視の経時変化 (Case C,  $z=0.0\text{cm}$ )

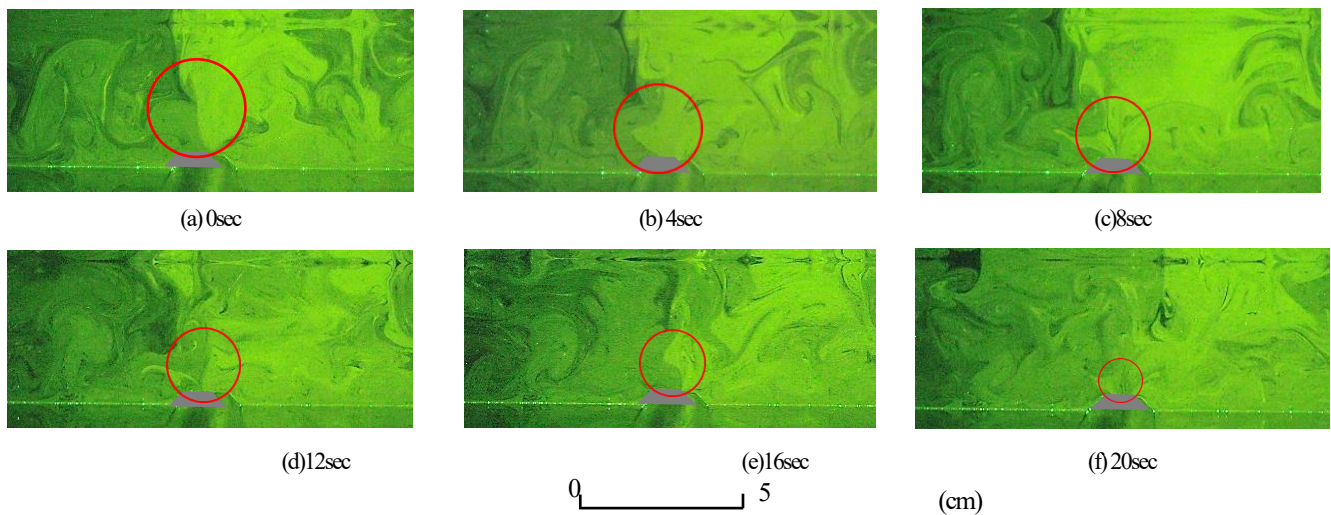


図-4 吸込み操作に伴う横断面視の経時変化 (Case C)

る。  
 実験では、流れの可視化と流速計測を上流端より5.5mの位置で行った。流れの可視化には蛍光染料注入法を用いた。トレーサには比重1.004の蛍光染料水溶液、照明にはレーザースリット光膜（カトウ光研GL100, 100mW）を用いた。実験では、1m程度上流から蛍光染料水溶液を投入し、それがレーザースリット光膜を通過する際の映像を4Kデジタルビデオカメラ（Sony PXY-Z280）で撮影した。（フレームレート1/30）流速計測にはPTV（Particle Tracking Velocimetry）を用いた。トレーサにはリルサンパウダー（比重1.04, 粒径 $100\mu\text{m}$ ），照明には同レーザースリット光膜を使用した。表-1には実験条件を示している。水深勾配は1/1000である。なお、 $Q$ は流量、 $H$ は水深、 $U_m$ は流速、 $Re$ はレイノルズ数、 $Fr$ はフルード数、 $Q_v$ は吸込み流量、 $V_v$ は吸込み流速を表している。

### 3. 実験結果および考察

#### (1) 吸込み操作に伴う流れの場の可視化

図-3には、吸込み操作に伴う栈粗度中央位置 ( $z=0.0\text{cm}$ ) における縦断面視の経時変化をしめしている。(a)に示した吸込み前の流れでは、縦渦構造が連続的に流下していることが観察された。時間が経過すると、(b)~(d)のように縦渦構造が形成されない領域が出現し始めた。さらに時間が経過すると(e),(f)のように、水表面まで到達した縦渦構造が間欠的に流下しており、その流れ方向スケールは吸込み無しのそれと比べて小さいことが観察された。

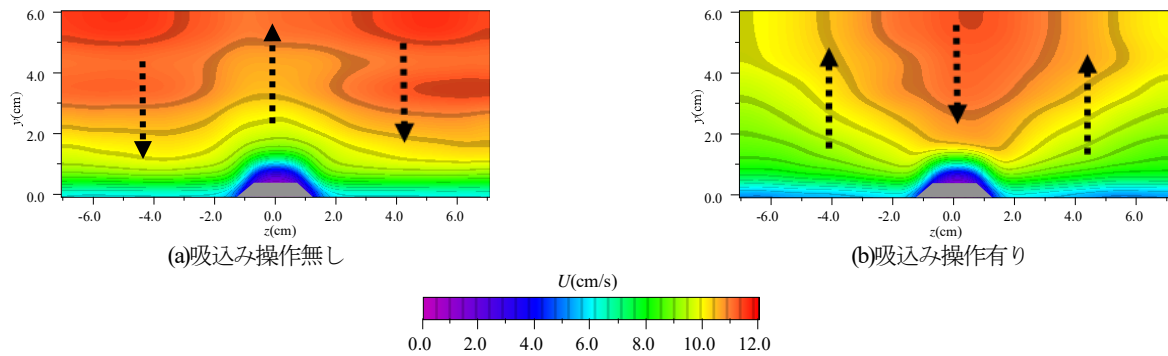


図-5 平均主流速 ( $U$ ) 分布の比較

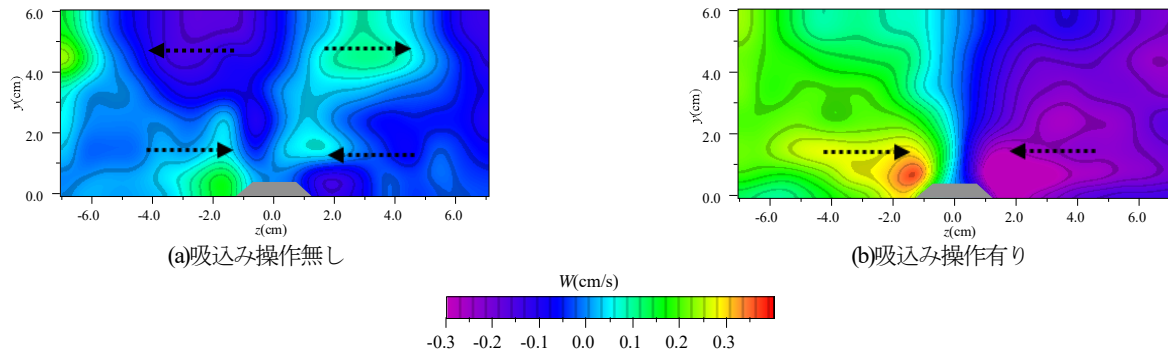


図-6 横断方向流速 ( $W$ ) 分布の比較

図-4には、吸込み有の横断面視を示している。本図の赤線で囲んだ領域に注目すると、縦棧粗度上に存在する渦構造が、時間の経過とともに吸い込まれていくことが認められる。

### (2)平均流速分布特性

図-5には、平均主流速( $U$ )の等値分布を示している。同図(a)は吸込み無しの分布である。この場合は、底壁面付近は相対的に低速となっている。また、その相対的な低速領域が、縦棧粗度から水表面に向かって形成されている。これはここには矢印のような上昇流が形成されていることを示唆しており、その周辺では相対的に下降流が形成されていることが推察される。同図(b)は吸込み有の $U$ 分布である。これより、縦棧粗度上では、低速域は粗度周辺のみで以上の領域では、高速となっていることが明瞭である。また、等値線の歪みからは、棧粗度付近では下降流、その周辺では上昇流の形成が示唆される。

図-6には、平均横断方向流速 ( $W$ ) の等値分布を示している。同図(a)は吸込み無しの場合である。これより、縦棧粗度を中心として反時計方向、時計方向の対を成す旋回流の形成を示唆する $W$ 分布が推察される。一方、(b)の吸込み有の $W$ 分布では、縦棧粗度の左側は右向き、左側は右向きの流速成分が形成され、吸込み操作が流れ場に及んでいることが認められる。

### (3)乱れ量分布特性

図-7には、主流速の乱れ強度 ( $u_{rms}$ ) の等値分布を示している。同図(a)の吸込み無しの場合には、縦棧粗度間に高い値の領域が形成されていることが認められる。一方、(b)の吸込み有の場合には、底壁面付近と水表面付近に相対的に高い領域が形成されている。しかし、その値を(a)と比較すると(b)の方が小さいことが明らかである。

図-8には、横断方向流速の乱れ強度 ( $w_{rms}$ ) の等値分布を示している。同図(a)は吸込み無しの分布を示す。これによると $u_{rms}$ の分布と同様に棧粗度間で大きな値の領域が分布していることが明らかである。一方、(b)の吸込み有りの分布では、水表面付近で大きな値の領域が分布している。また、底壁面側にも比較的高い領域が分布している。その値を比較すると $u_{rms}$ と同様に(b)の吸込み有の場合の方が小さいことが明らかである。これより、みだれ強度は、吸込み操作によって抑制されることが明らかとなった。

図-9には、水平方向レイノルズ応力 ( $-\overline{uw}$ ) の等値分布を示している。同図(a)は吸込み無しの分布である。これより、縦棧粗度の左側は対局的に負値の領域、右側では正値の領域が形成されている。一方、(b)の吸込み有りの場合には、棧粗度の左側には正値の領域、右側には負値の領域が形成され、(a)とは逆の位相となっていることが明らかである。このことにより、吸込み操作によって流れの構造が大きく変化したことを示唆している。

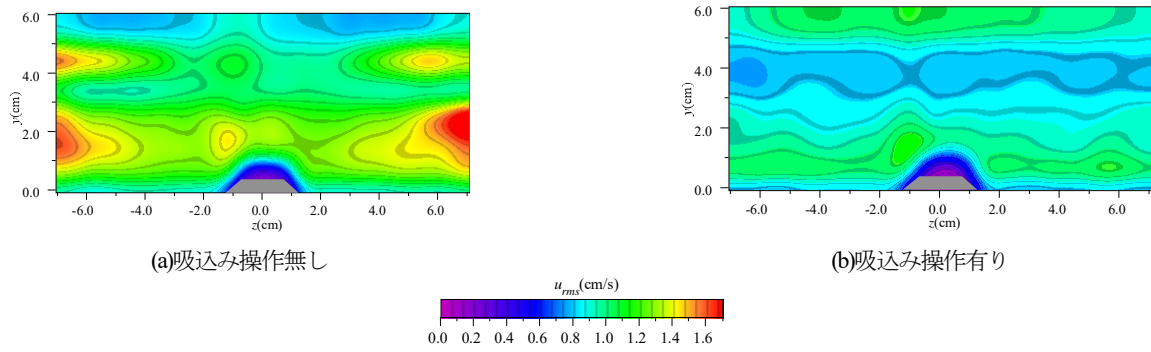


図-7 主流速乱れ強度 ( $u_{rms}$ ) 分布の比較

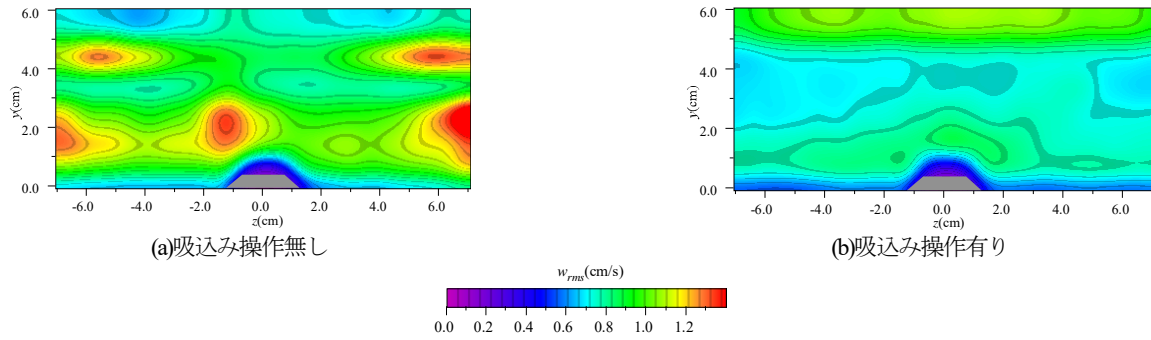


図-8 横断方向流速乱れ強度 ( $w_{rms}$ ) 分布の比較

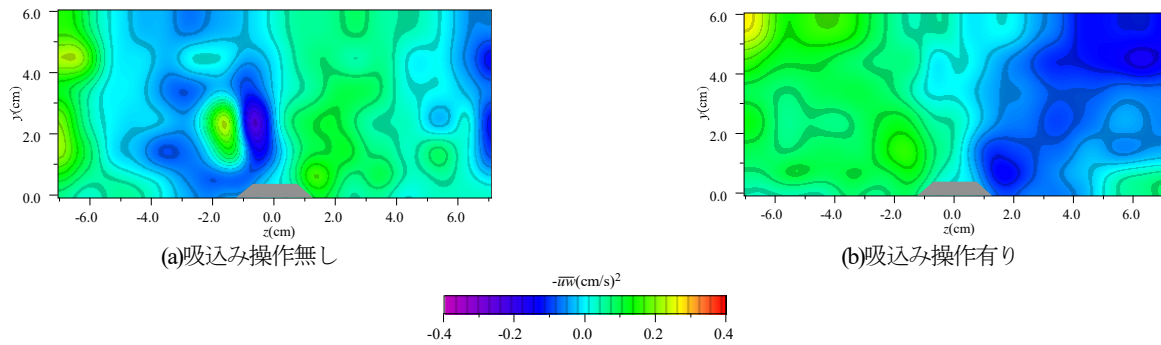


図-9 横断方向レイノルズ応力 ( $-u'w'$ ) 分布の比較

#### 4. 結論

本研究では、縦棧粗度を底壁面に設置した開水路流れにおいて、その棧粗度に吸込み操作を行うことに伴う流れ場の徴を検討した。以下に本研究において得られた結論を示す。

(1) 縦棧粗度上に時空間的に集中して形成される縦渦構造は吸込み操作によって、間欠的な形成に変化する。また、その縦渦構造のスケールは小さくなっていることが推察された。

(2) 平均主流速 ( $U$ ) 分布では、吸込み無しの流れでは棧粗度上で相対的な低速領域が形成されるのに対し、吸込み有りの流れでは高速域となる。また、横断方向流速 ( $W$ ) 分布では、吸込み無しの流れでは、棧粗度の左右にそれぞれ反時計、時計方向の旋回流が形成されるのに対し、吸込み有りの流れ場では、棧粗度に吸い込まれる  $W$  分布を呈している。

(3) 乱れの成分分布では、吸込み無しと有りの流れ場では、有りの流れ場では乱れ強度が低下することが明らかとなった。また、水平方向のレイノルズ応力 ( $-u'w'$ ) 分布では、吸込み有無によって正值、負値の形成領域の位相が逆転することが明らかとなった。

#### 参考文献

1) Robinson, S.K.: Coherent motions in the turbulent boundary layer, Annual Review of Fluid Mechanics, Vol. 23, pp. 601-639, 1991.