

# 越流型水制群に対する二次流と流砂の応答

## Responses of Secondary Currents and Sediments to Submerged Groynes

大本照憲<sup>1</sup>・平川隆一<sup>2</sup>・井手賢正<sup>3</sup>

Terunori OHMOTO, Ryuichi HIRAKAWA and Kensei IDE

1 正会員 工博 熊本大学助教授 工学部環境システム工学科

2 学生員 熊本大学 工学部環境システム工学科

3 正会員 工修 熊本市

Recent studies have shown that submerged groynes can provide an extremely valuable habitat for fish and macroinvertebrates in addition to the function to establish a more desirable channel for flood, navigation and bank erosion.

In this paper, we investigated experimentally the effect of submerged groins, which are positioned downstream, upstream and normal to a straight channel flow, on secondary currents and sediments. Experimental results showed that groynes facing upstream lead to the minimum scouring around the head of groins and deflected most effectively the main flow away from the bank.

Key Words : submerged groynes, secondary currents, sediments, local scouring, flood control

### 1. はじめに

水制には、流れに対する粗度としての流速低減効果および水はね作用としての流向制御効果の2つの働きが有ることが知られている<sup>1,2)</sup>。従来、両者の機能に着目し、河岸浸食および護岸破損の防御、低水路法線の修正、航路確保等の治水・利水を目的に利用されてきたが、近年、水制周辺の流れが多様なために河岸植生や水棲生物にとって良好な環境が創造されることから、河道直線区間において生態系の保全・修復を目的にした水制の設置が試みられている<sup>3)</sup>。既往の研究成果<sup>4)</sup>により、湾曲部に水制群を設置した場合の流れおよび河床変動に対しては計算可能なレベルに達している。しかし、直線河道の越流型水制群においては水制周辺の局所洗掘や流れに対して系統立った研究は成されておらず、水制の向きが二次流および流砂に与える影響については明らかにされていない<sup>5-7)</sup>。本研究では、水制を水路の片岸に設置した場合および両岸に設置し左右対称とした

場合で固定床および移動床実験を行い、越流型水制の向きが流れおよび流砂に与える影響について検討した。

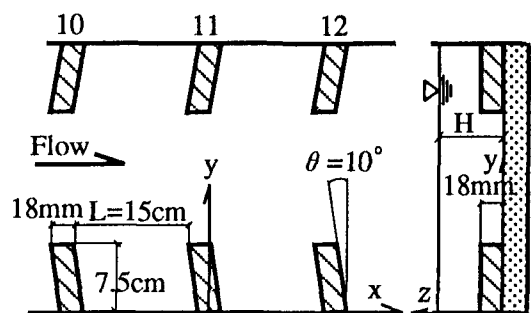
### 2. 実験装置および方法

実験に用いた水路は、長さ10m、幅40cmのアクリル樹脂製可変勾配水路である。移動床実験では、河床材料として、中央粒径 $d_{50}=0.94\text{mm}$ の均一に近い珪砂を用いた。河床材料は水路全域に互って厚さ6cmで一様に敷均し、幅18mm、高さ30mm、長さ7.5cmの直方体の木片で作られた水制を、図-1に示すように初期河床から高さ $\Delta=18\text{mm}$ 、その間隔が15cmとなるように設置した。実験は、静的平衡河床を対象とし、上記の境界条件および表-1の水力条件で通水され、120分経過後に超音波測深器により河床形状の測定が行われた。固定床実験では、同一の水路に、幅18mm、高さ18mm、長さ7.5cmの直方体の木片で作られた水制を移動床実験と同様に

15cmの間隔で設置した。なお、水制の向きは、直角 ( $\theta=0^\circ$ )、上向き ( $\theta=10^\circ$ ) および下向き ( $\theta=-10^\circ$ ) の3種であり、水制群は固定床実験および移動床実験ともに流下方向に21基で構成されている。流速測定には、二成分電磁流速計を使用し、流速の主流方向成分と横断方向成分、および横断方向成分と鉛直方向成分の同時計測が同一地点で行われた。なお、座標系は右岸側の上流から11基目の水制根付部の河床位置を原点とし、主流方向にx軸、横断方向にy軸、鉛直上方にz軸を取る。

表－1 実験条件

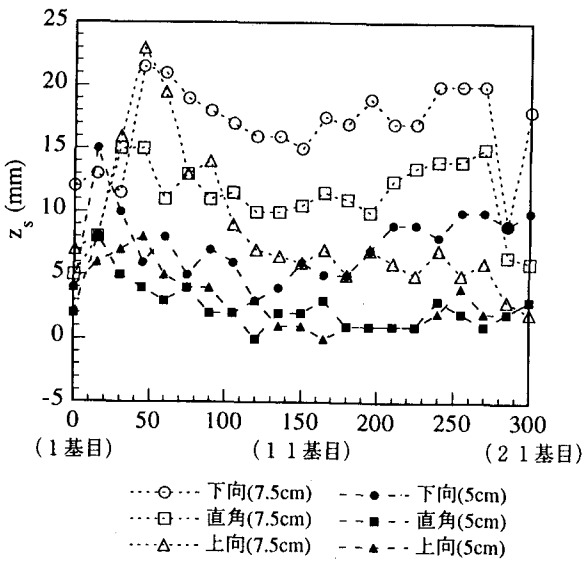
|          |                    |
|----------|--------------------|
| 流量       | $Q=5.83(l/sec)$    |
| 水深       | $H=5.0cm$          |
| 平均流速     | $U_m=29.88cm/sec$  |
| 摩擦速度     | $U_* = 2.21cm/sec$ |
| 水路勾配     | $I_0=1/1000$       |
| レイノルズ数   | $Re=14940$         |
| フルート数    | $Fr=0.43$          |
| 無次元掃流力   | $\tau_* = 0.032$   |
| 砂粒レイノルズ数 | $Re_* = 20.8$      |



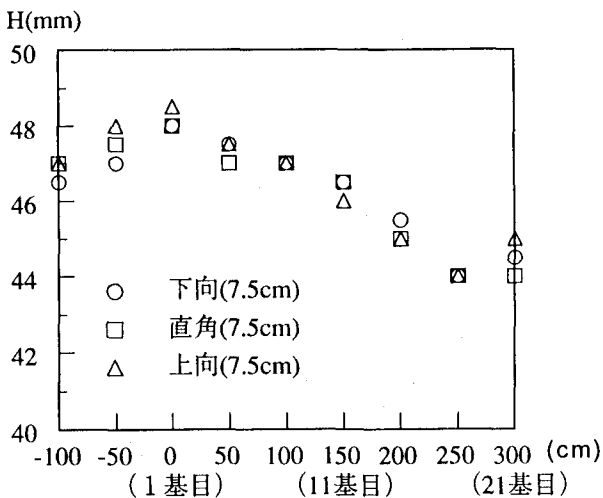
図－1 越流型水制群の概略

### 3. 局所洗掘

直角、上向および下向の3種の越流型片岸水制群における各水制周辺の極大洗掘深を図－2に示す。全般的に、極大洗掘深は下向水制が最も大きく、つづいて直角水制、上向水制の順となっており、水制長が5cmの場合（水制間隔／水制長＝3）でも同一の順序である。Ahmad.M<sup>8)</sup>およびTison<sup>9)</sup>による非越流型単独水制を用いた移動床実験では、極大洗掘深は上向、直角、下向の順で大きくなることから、水制の向きが局所洗掘に与える影響は非越流型単独水



図－2 極大洗掘深の流下方向変化



図－3 水位Hの流下方向変化

制と越流型水制群では全く異なることが認められる。また、極大洗掘深は流下方向変化に、水制4基目～11基目の範囲では何れの水制も一様に減少し、12基目～18基目の下流域では、上向水制ではほぼ一定で、洗掘は平衡状態に達しているが、直角水制と下向水制の場合には、上昇傾向に転じていることが分かる。なお、何れの水制群も先頭から3基目までの水制および最後尾の21基目の水制は、河床からの高さを $\Delta/2=9mm$ としているため、水制周辺の極大洗掘深が小さく押さえられている。図－3は、水路中央における水位の流下方向変化を示したものである。何れの水制においても水制群の堰上げ効果により水制直上流域では水位の上昇を示し、水制設置区間では、1基目～11基目における水位の低下傾向は12基目～18基目のそれに較べて強く現れていることが認められる。極大洗掘深が12基目

以降の下流域において増大したのは、この位置から水位の低下に伴い水制前面の下降流が強まったことが推察される。図-4から図-6は、越流型水制群における上流より11基目の水制周りの河床高の等値線を示す。何れの場合も水制頭部の上流付近で洗掘深は大きい。詳細に見れば極大洗掘深の位置は直角水制に較べて上向水制では水制域内に入り込み、下向水制では下流側にある。また、洗掘された土砂は直角、下向水制では水制背後に堆積しているが、上向水制で見られないのは、洗掘土砂量が少ないためと考えられる。

#### 4. 平均流特性

直角、上向および下向の3種の両岸水制群において先頭より11基目と12基目の水制間における主

流速の等値線および二次流ベクトルをそれぞれ図-7~9に示す。図-7から直角水制においては主流速の等値線は、全般的に河岸に向かって突出し、

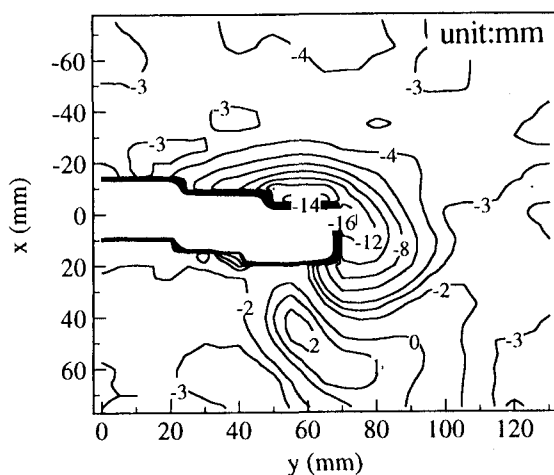


図-6 片岸下向水制周りの局所洗掘  
(11基目)

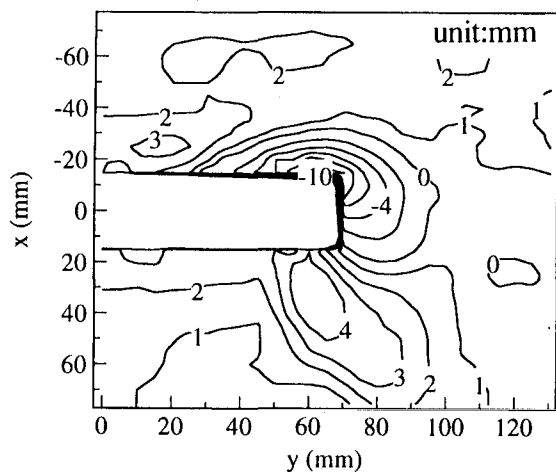


図-4 片岸直角水制周りの局所洗掘  
(11基目)

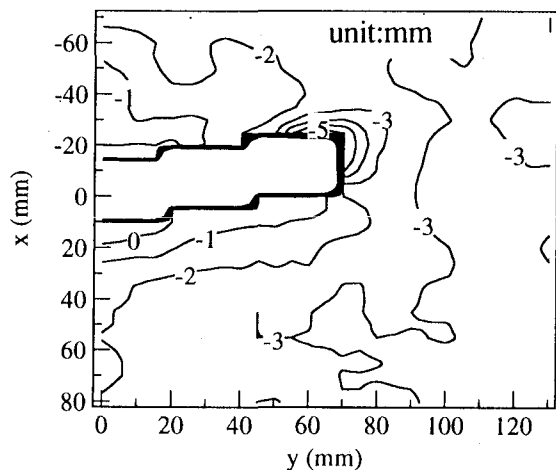


図-5 片岸上向水制周りの局所洗掘  
(11基目)

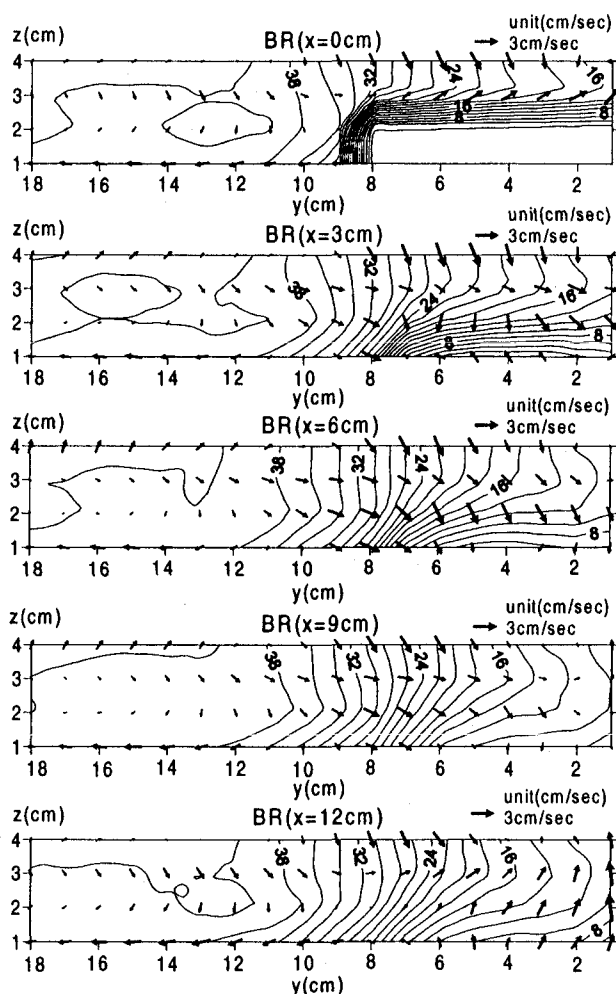


図-7 主流速の等値線および二次流ベクトル  
(越流型両岸直角水制群の場合)

自由水面付近で主流速が小さくなっていることが認められる。また、計測箇所では水制域内の主流速は減少しているものの逆流域はなく、水制域内に特有の循環領域は小さいことが予想される。この原因としては、水制高の水深に対する比が小さく、越流により水制域全体に運動量が輸送されたことが挙げられる。二次流の水平成分Vは水制域内では全般的に側岸方向に向きを取り水制域外の底面近傍では水路中央部に向きを取ることが認められる。二次流の鉛直成分Wから、水制域内の  $x = 3\text{cm} \sim 9\text{cm}$  の範囲では全般的に下降流となり、 $x = 0\text{cm}$  および  $12\text{cm}$  では水面近傍を除けば上昇流が発生し、特に  $x = 12\text{cm}$  では側岸付近で強い上昇流が発生している。

図-8 から上向水制においては、主流速は直角水制の場合と比較して水制域内では水面および側岸近傍で小さくなり、底面近傍では逆に大きくなる傾向を示し、鉛直方向の流速変化に較べて横断方向の変化が卓越することが分かる。特に  $x = 9\text{cm}$  において

その特徴が強く現れ主流速が水面付近に較べて底面付近で大きな値を示している。一方、水制域外では、主流速は直角水制に較べて上向水制の方で大きく、特に底面付近で大きくなる傾向がある。越流型水制群においては水制域内の流速低減効果は直角水制に較べて上向水制の方が大きく、その反作用として上向水制の主流部では流速は増大する。二次流については、水平成分Vは水制域内では底面近傍で河岸に向かう方向を取り、水面近傍で水路中央に向かう方向を取り、鉛直成分Wは  $x = 3\text{cm} \sim 9\text{cm}$  の水面付近で下降流となっているが、水制より  $3\text{cm}$  上流の  $x = 12\text{cm}$  では底面付近に顕著な上昇流が現れ、側岸付近で強くなっていることが分かる。また、直角水制で観察された水制域外の底面近傍において、水路中央に向かう二次流の横断成分Vは、上向水制では見られない。上向水制における流体運動の特徴としては、水制域外の流体塊は水制間の底層に沿って側方から水制域内に流入し、水制直上流から側岸に沿って上

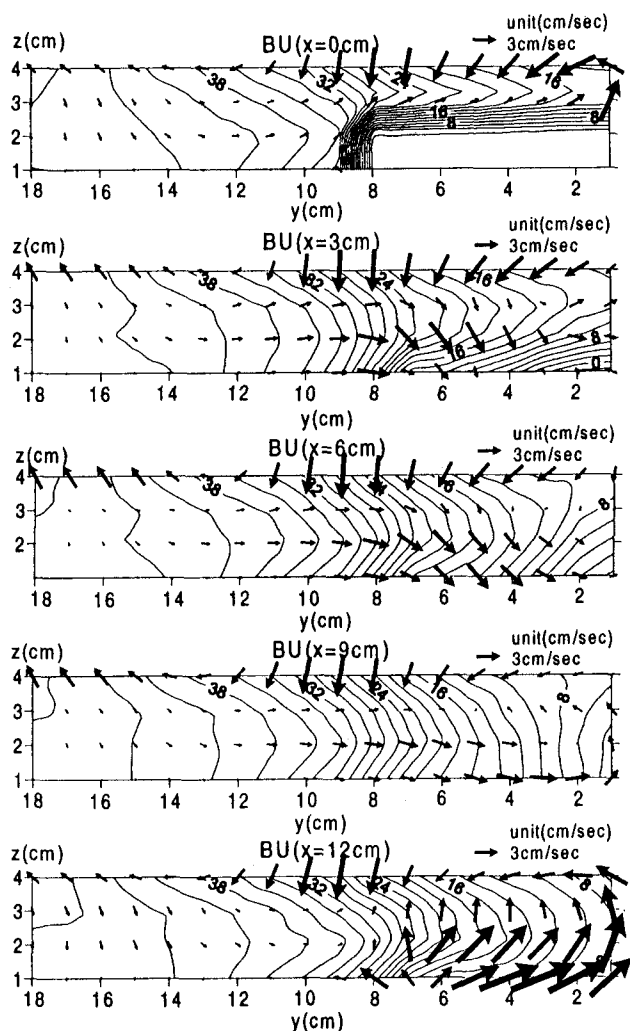


図-8 主流速の等値線および二次流ベクトル  
(越流型両岸上向水制群の場合)

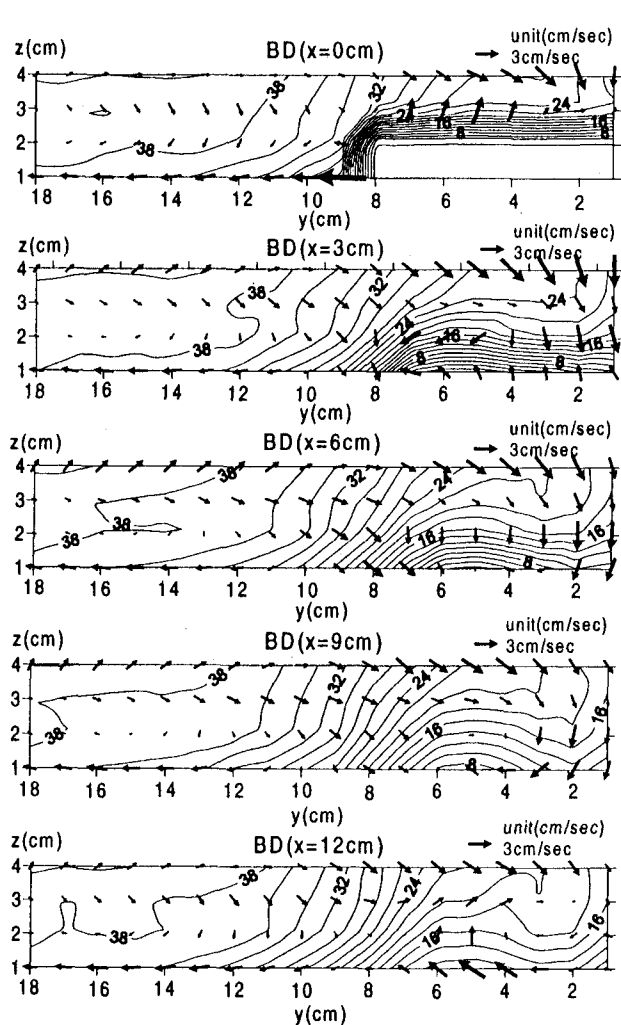


図-9 主流速の等値線および二次流ベクトル  
(越流型両岸下向水制群の場合)

昇し、水制上を乗り越える形で水制域外に流出し、このために上向水制では極大洗掘深が小さくなったものと考えられる。

図-9より下向水制における主流速の等値線は、水制域内では水路隅角部に突出し、主流速の横断変化が小さく相対的に鉛直変化が大きくなっている。特に、側岸近傍の主流速が直角水制および上向水制の主流速に較べて遥かに大きく2倍近い値を示していることが分かる。二次流に関しては、横断方向成分Vは、水制域内では上向水制に較べて逆方向を示し、水面近傍で側岸方向、底面近傍で水路中央方向に向きを取ること、および水制域外の底面近傍では水路中央方向に向き取り、特に $x=0\text{cm}$ の水制設置位置で大きいことが注目される。鉛直成分Wは水制域内では全般的に下降流を示し、特に側岸付近で顕著となっていることが分かる。即ち、下向水制においては、水制域外的高速流体塊は水制上を乗り越え

て水制域内に流入し側岸に沿って下降し、水制直上流の前面に沿って水制域外に流出する運動形態を取り、このことが水制前面の局所洗掘を大きくしている。

### 5. 乱れ特性

レイノズル応力 $-\overline{u'v'}$ および $-\overline{u'w'}$ の横断分布を、それぞれ図-10および図-11に示す。何れも水制先頭から11基目の水制より下流 $x=9\text{cm}$ 位置に当たり、水制域内の中央より若干下流における乱れによる運動量輸送を表したものである。直角、下向水制ではレイノズル応力 $-\overline{u'v'}$ の極大値は、河床からの高さによらずほぼ水制頭部の $y=7.5\text{cm}$ 付近で鋭く立ち上がり、主流速の横断分布における変曲点は鉛直方向に大きくずれていない。一方、上向水制ではレイノズル応力 $-\overline{u'v'}$ の極大値は、底面付近では水

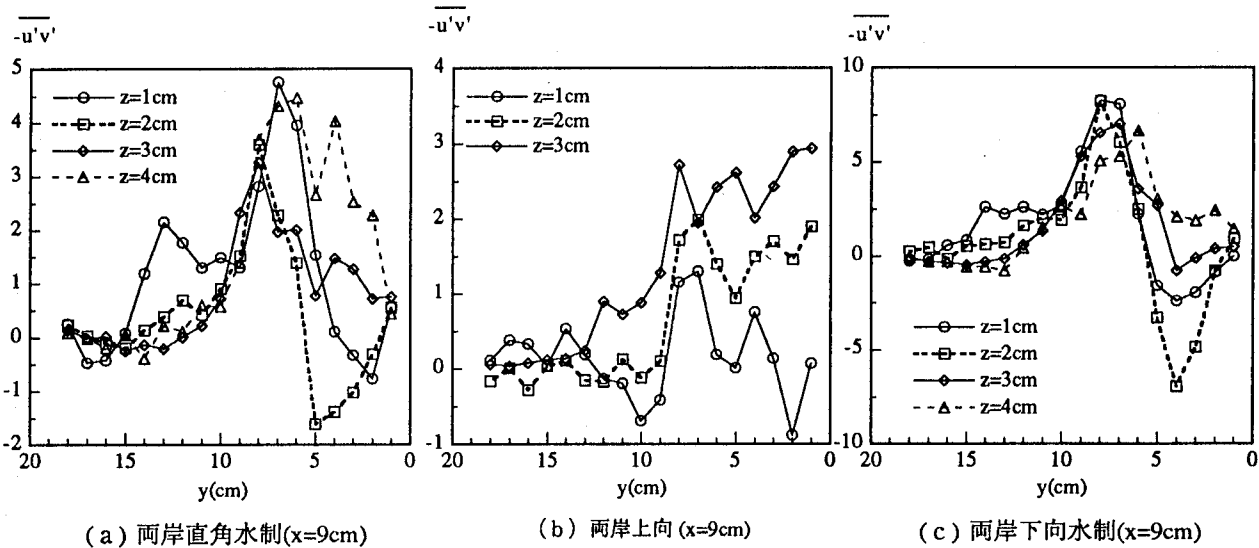


図-10 レイノズル応力  $-\overline{u'v'}$  の横断分布

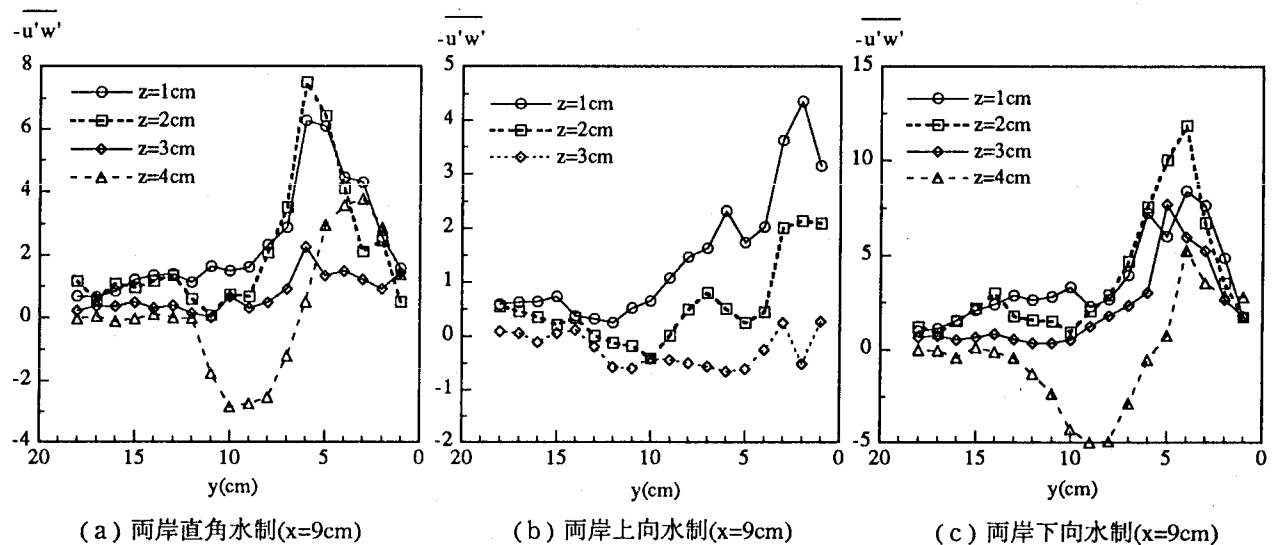


図-11 レイノズル応力  $-\overline{u'w'}$  の横断分布

制域内に入り、水面付近では水制域外に位置し、主流速の変曲点位置は鉛直方向に一樣ではないことが分かる。また、レイノズル応力 $-\overline{u'v'}$ の極大値の大きさは、下向水制が最も大きく続いて直角、上向水制の順となっている。なお、下向水制において顕著な負のレイノズル応力 $-\overline{u'v'}$ が $y=4\text{cm}$ 付近で生じているのは、水制上を乗り越えて水制域内に流入した高速流体塊が側岸に沿って下降し、その結果側岸付近で主流速が大きくなったためであることが考えられる。下向水制と直角水制ではレイノズル応力 $-\overline{u'w'}$ は、水面近傍を除けば水制域内で極大値が現れ、水制の中央部の $z=2\text{cm}$ 付近で極大値が現れ、主流速の鉛直方向の変化割合に対応する。また、水面近傍では $-\overline{u'w'}$ が $8\text{cm}<y<10\text{cm}$ において、負の大きな値を取っており、これは二次流および $-\overline{u'v'}$ の影響が考えられる。上向水制ではレイノズル応力 $-\overline{u'w'}$ は側岸付近で大きくなることが分かる。また、レイノズル応力 $-\overline{u'w'}$ の極大値の大きさは $-\overline{u'v'}$ と同様に、下向水制が最も大きく、続いて直角、上向水制の順で大きくなっており、同様の順で乱れエネルギーも大きくなることが認められた。

## 6. まとめ

越流型水制群における水制の向きが、局所洗掘および流れに与える影響について検討を行った。実験に使用した電磁流速計はホットフィルム流速計に較べて周波数応答特性が低いために高周波成分は捉え切れていないが、水制周辺の流れは低周波数の剥離渦に支配されており、定性的には問題が無いものと考えられる。得られた結果を要約すれば以下の通りである。

- (1) 越流型水制群は、単独非越流型水制とは異なり、極大洗掘深が下向水制で最も大きく、続いて直角、上向水制の順となる。
- (2) 上向水制においては、水制域外の流体塊は水

制間の底層に沿って側方から水制域内に流入し、水制直上流から側岸に沿って上昇し、水制上を乗り越える形で水制域外に流出し、このために上向水制では極大洗掘深が小さくなる。

- (3) 下向水制においては、水制域外的高速流体塊は水制上を乗り越えて水制域内に流入し側岸に沿って下降し、水制直上流の前面に沿って水制域外に流出する運動形態を取り、このことが水制前面の局所洗掘を大きくしている。
- (4) 水制域内において流速変動に伴う運動量輸送および乱れエネルギーの発生は、下向水制で最も大きく、続いて直角、上向水制の順となる。

## 参考文献

- 1) 山本晃一：日本の水制、山海堂、1996
- 2) 秋草勲、吉川秀夫、坂上義二郎、芦田和男、土屋昭彦：水制に関する研究、土木研究所報告第107号
- 3) イウ"アン・ニキティン：水制の理論と計算、信山社サイテック、1995
- 3) 福岡捷二、渡辺明英、西村達也：水制工の配置法の研究、土木学会論文集、pp.27-36、1992
- 4) 河原能久、彭 静、藤井和之：越流型水制工を有する流れの3次元数値解析、第3回河道の水理と河川環境に関するシンポジウム論文集、pp.17-22、1997
- 5) 福岡捷二、西村達也、川口昭人：越流型水制工を有する流れの解析、河道の水理と河川環境に関するシンポジウム論文集、pp.211-216、1995
- 6) 宗田徳彦、渡邊康玄、清水康行：水制周辺の流速分布、第39巻水工学論文集、pp.577-582、1995
- 7) 宗田徳彦、清水康行、板倉忠興：出水による水制周辺の粒度分布および河床変化、第40巻水工学論文集、pp.799-804、1996
- 8) Ahmad,M.,:Experiments on design and behavior of spur dikes, Proceedings of International Association of Hydraulic Research Conference, p.145-159, 1953
- 9) B.Przedwojski,R.Błazejewski and K.W.Pilarczyk: River Training Techniques, p.340,A.A.BALKEMA, 1995

(1997.9.30受付)