

高水敷上の大規模水制群周辺の流れ構造に関する研究

指導教員 富永晃宏 教授

脇田 大介

1. **はじめに**：木曾川下流部に設置されているケレップ水制群は堤防の保護という機能のほかに、多自然型川づくりへの重要な役割を果たしている。水制の設置構造は複断面上に、川幅に対して水制長が長く、断面が台形で高さが低いことが特徴的であるが、このような複雑な構造の流れの特徴は掴めていない。また、現在この水制直後では深掘れが見られており、この深掘れが水制域のわんど維持に重要な役割を果たしていると考えられている。本研究は、河床変動が大きく起こる出水時に注目し、河川の地形形成と環境に関わる流れ構造の把握を目的とするものである。

2. **実験方法**：実験水路は全長 13m、水路幅 60cm、勾配が 1/2000 で固定床実験を行った。高水敷の材料は長さ 2m、幅 40cm、高さ 4.3cm の塩化ビニル製の板を用いた。この塩化ビニル板を 6 枚並べ、水路幅の 40cm、高さ 4.3cm の高水敷とし、その上に水制を設置した。水制は上底 4cm、下底 8cm、高さ 2cm の台形断面で、長さを高水敷幅と同様の 40cm となるようにセメントで作成し使用した。この水制は不透水水制である。実験での水理条件を表 1 に示す。複断面と単断面の違いを、また水制を複数設置した場合の違いを考察するため計 4 ケースの実験を行った。水制を複数設置する場合は、計測する水制の上流、下流に設置間隔を 80cm 開けて同様の水制を設置するものとする。流量は水深で合わせ、水制底面高さから 5cm となるように単断面では 5cm、複断面では 9.3cm となるように設定した。実験ケースの横断面図を図 1 に示す。これらの条件で 2 成分電磁流速計を用いて x, y, z 方向の流速を計測した。計測点は、x 軸方向は全長 1m58cm を 8 断面とし、さらに水制前後を細かくとった。y 軸方向は 60cm を 10 断面とり、さらに水制先端付近で細かく、z 軸方向は高水敷底面から 2 断面、水制近くだけ 3 断面とした。

3. **実験結果と考察**：図 2 に底面より 1cm の U を平均流速で除した無次元流速コンターを示す。単断面、複断面共に水制先端付近で逆流が起きていることから、剥離渦の発生が推察できる。またどちらも最大流速の位置が水制先端に近い主流域となっており、下流では水制域との境界の速度勾配は単断面の方が大きい。しかし全体的によく似ていると言える。図 3 に鉛直方向流速 W を平均流速で除した無次元流速コンターを示す。分布傾向が大きく違うのは水制直後の高水敷と低水路の境界面であり、鉛直方向流速 W を見ると複断面構造の case B1, case B2 では水制先端付近 (y=38cm) から水制先端 (y=40cm) にかけて下降流から上昇流に変わっていることが見られる。これらからこの上昇流と下降流による急な速度勾配は複断面特有のものと言える。図 4 に case B1 の水制先端にお

表 1 実験の水理条件

Case	高水敷	水制数	Q(l/s)	Um(cm/s)	H(cm)	I
A1	無	1	7.7	23.55	5	1/2000
A2		3				
B1	有	1	11.4	28.55	9.3	
B2		3				

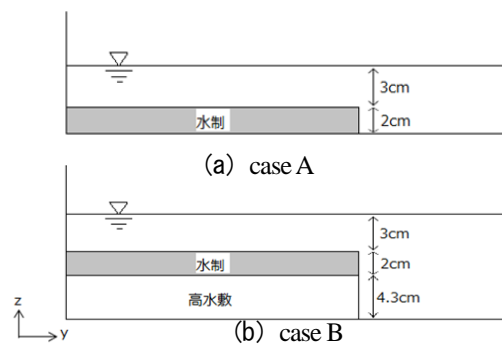


図 1 実験ケースの横断面

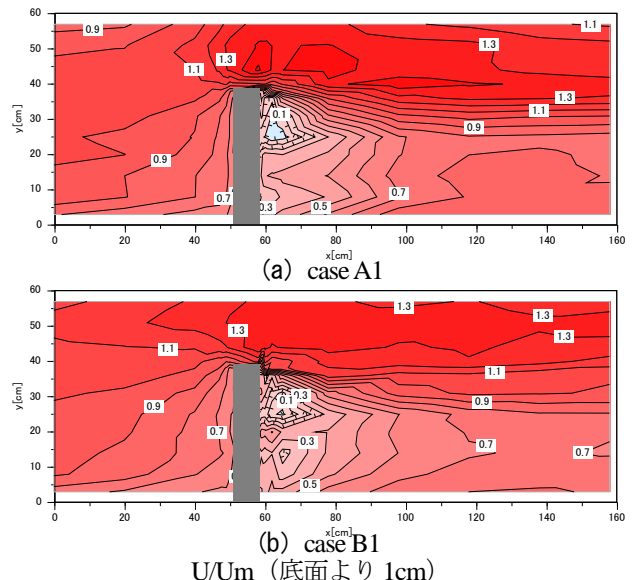


図 2 無次元流速 U コンター

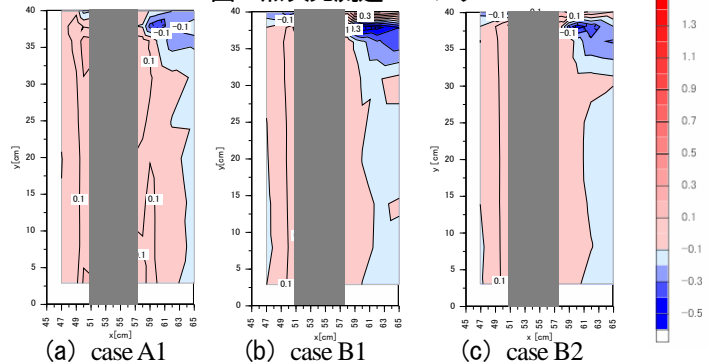


図 3 無次元流速 W コンター

けるベクトル図を示す。このベクトル図からも水制先端付近 (y=38cm) では下降流、水制先端 (y=40cm) では上昇流がみられる。過去の研究¹⁾で複断面河道には低水路か

ら高水敷に主流の5%程度の上昇流があることがわかっているが、本研究における鉛直流速は主流速の50%にもあたる強い流れである。図5に水制直後(1cm)の無次元鉛直流速横断分布を示す。この図より、水制根元から水制先端に至るまでは大きく変わらないが、水制先端付近では複断面構造の方が、下降流が大きいことが確認できる。これらより水制先端では低水路からの上昇流により、2次流が起きていると推察できる。この実験を通して水平面での剥離渦、水制を越流した流れの降下流、2次流による低水路からの巻き上がり流と水制先端付近での下降流による3次元の複雑な流れとなっていることが推察できる。

4. **数値計算**：3次元数値計算により実験で計測できなかった点について考察するものである。本研究では0方程式モデルを用いた3次元計算で、運動方程式と連続式を元に計算を行った。実験の水路と水制は格子で再現し、流量、水深共に実験と同様の条件とした。格子の間隔は $\Delta x = 5\text{mm}$, $\Delta y = 10\text{mm}$, $\Delta z = 5\text{mm}$ とし計算を行った。計算では水制後方の流速低下能力を過大に再現してしまう傾向があり、図6に示す通り、水制を3つ設置した場合は第一水制の影響のため計測する水制への流入が実験と比べ流れ構造自体が大きく異なる。これは水深変化や乱れによる流れが再現できておらず、鉛直方向のエネルギー交換が過小に扱われているものと考えられる。図7にcase B1の計算でのy-z平面のベクトル図を示す。図より低水路から高水敷への巻き上がり流と、その流れが高水敷底面に流れ込んでいることが確認できる。これより実験で見られる2次流が再現できていると考えられる。実験結果と比較して上昇流、下降流が小さくなっているが、これは先に述べた通り本研究の計算では乱れによる2次流の発生が再現できず、また水深変化を考慮していないことから、水制周辺での水深変化に伴う流れの加速や、鉛直方向流速の再現ができていないと推察できる。

5. **おわりに**：本研究で得られた複断面の高水敷上水制群周辺の流れ構造を以下に示す。

- ① 水制直後では水制先端付近剥離渦が形成され、水平面に小規模な渦が形成されるが、これは複断面特有の流れではない。
- ② 水制直後における高水敷境界面では低水路からの強い上昇流がみられ、この流れが水制先端付近で下降流となり2次流となっている。
- ③ 水制直後の先端付近では高水敷底面において、先に述べた水平面での渦、2次流、水制を越流した流れによる下降流により複雑な流れとなっている。
- ④ 水制を複数設置した場合は、高水敷上で全体的な流速の低下と主流と高水敷での流速の差別化を促進できる。

これらより、現地で起きている水制直後の複断面の洗掘はこの強い上昇流と、それに伴う2次流、また剥離渦といった3次元性に原因があるものと考えられる。今後、

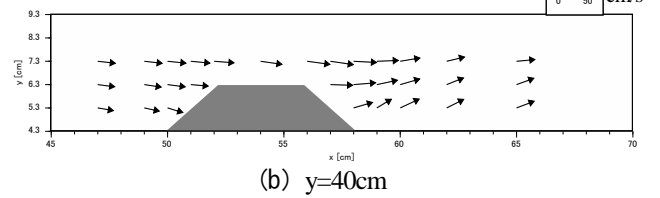
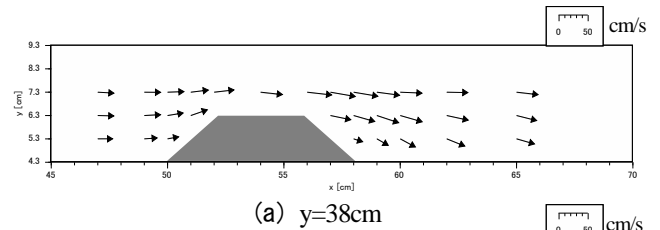


図4 x-z平面ベクトル (case B1)

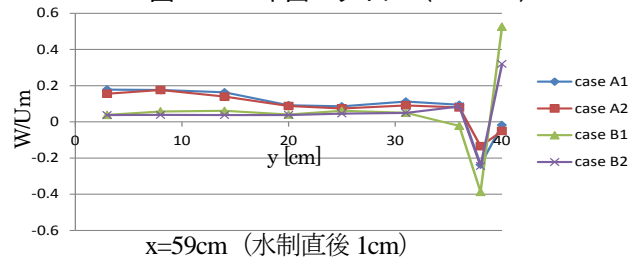


図5 無次元鉛直流速横断分布(底面より1cm)

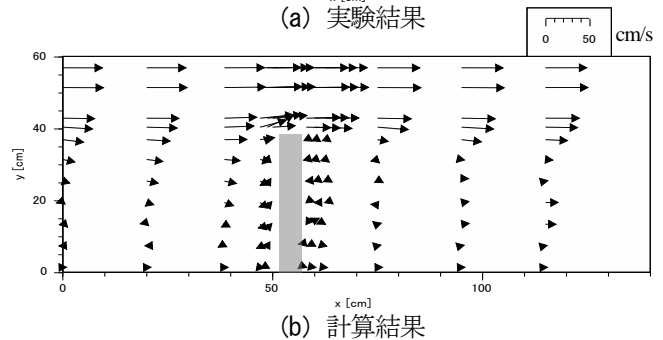
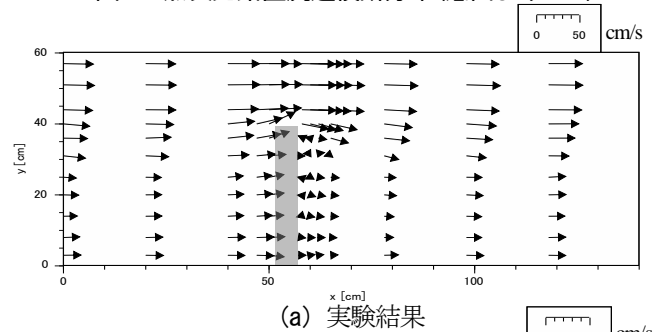


図6 case B2におけるx-y平面実験と計算の比較(z=5, 3)

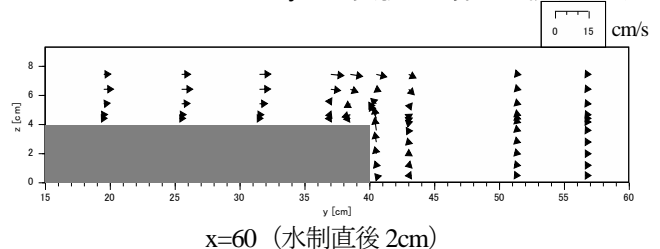


図7 3次元計算でのy-z平面ベクトル図 (case B1)

より再現性を高め、高水敷底面での流れを確認できればこの深掘れの原因をさらに追求できるものと考えられる。

6. **参考文献**：1) A.Tominaga.& I,Nezu.

Turbulent structure in compound open channel flow
J.Hydraulic Eng, Vol.117, pp.21-41, 1991