局所洗掘孔を伴う下流向き越流型水制周辺の三次元流況に関する数値解析

松江高専専攻科　学生会員　○勝田真太郎
松江高専　正会員　木村　一郎
京大防災研　正会員　石垣　泰輔
ＪＲ西日本　非会員　広江　正典

１．目的

一般に，越流型下流向き水制は河岸付近の局所洗掘を促進するため治水上好ましくないとされている．しかし，伝統的水制の中にはこれに矛盾して下流向きのものも存在する．石垣ら[1)]はこのような水制の一つとして桂川上内膳をとりあげ，これが洪水規模を考慮した経験的なものである可能性を示唆した．さらに，上内膳の現状をふまえ，下流向き水制によって適度な洗掘を生じさせることにより，ビオトープとしての機能を期待できることにも言及している．すなわち，これまで不適切とみなされていた下流向き水制の長所に着目し，例えば上流向き水制と併用して用いることができれば，より多様な河道空間を創造できる可能性があるということであり，多自然型川づくり等に有効となろう．しかしそのためには，下流向き水制の流れ構造を十分に把握し，リスクを熟知した上でより慎重な設計が求められることはいうまでもない．本研究では石垣らが下内膳の水制を対象として行った室内模型実験を対象に三次元数値解析を実施し，その再現性と三次元乱流構造の解明を試みる．

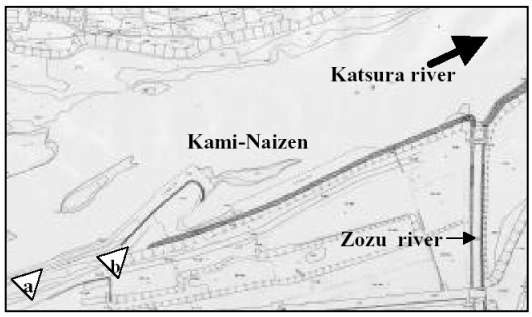


図１ 桂川下内膳の下流向き水制

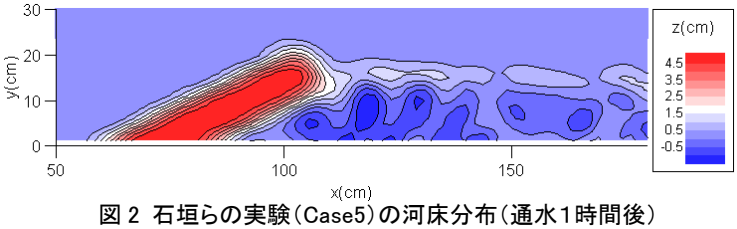


図２ 石垣らの実験（Case5）の河床分布（通水１時間後）

表１ 水理条件（石垣らの実験 Case5）

H/h	H(cm)	Q(l/s)
1.92	9.48	17.38

H: depth,　h: groin-height=4.95cm,
Q: discharge, Width=90cm, Length=10m

２．対象とする流れ場

石垣らは，**図１**に示す桂川上内膳の下流向き水制を対象に 1/100 の模型実験を行い，５通りの洪水規模に対する流れ構造と局所洗掘の関係を検討している．このうち，局所洗掘が顕著に発達した大規模洪水に対応する Case5 の条件で，数値解析を行い，局所洗掘の発達と流れ構造の関係を検討する．**図２**は通水１時間後の河床の様子を表しており，計算はこの河床形状を固定した底面条件で実施する．水理条件を**表１**に示す．

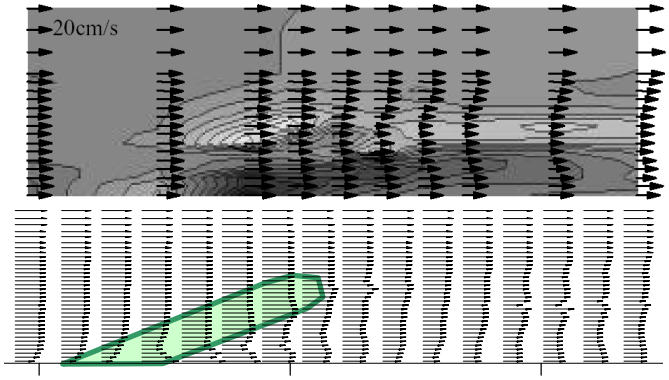


図３ 水面付近の平面流況（上：実験，下：計算(鉛直格子数 8)）

３．数値解析法

数値解析は移動一般曲線座標系における反変成分表示の基礎式を採用する．乱流モデルとしては，著者らの提案する２次非線形 k-εモデルを用いる．計算法の詳細は文献[2)]に譲る．計算格子は水平面内は直交不等間隔格子とし，格子数は 175(x 方向)×50(y 方向)とした．鉛直方向は底面と水面の距離を等分割するΣ座標系とし，格子数は８と 16 の２通りを検討した．鉛直方向の格子は水面の振動に応じて移動させている．

４．計算結果及び考察

キーワード　越流型水制，下流向き水制，局所洗掘，非線形 k-εモデル，三次元数値解析
連絡先　〒690-8518　島根県松江市西生馬町 14-4　松江高専　環境・建設工学科　ＴＥＬ0852-36-5212

図 3 は，水面付記の水平面内の主流方向流れを実験と計算で比較したものである．実験結果をみると，水制下流側において，横断方向に変曲点の存在する流速分布が生じている．すなわち，水制先端付近で流速が小さく，その両側で流速が大きくなっている．これは石垣らも指摘するように，越流型下流向き水制では水制を超えた流れの一部が側岸に向かうためであり，治水上注意を要する現象といえる．数値解析に結果においても，水制の直下流においては実験と同様な分布を示しているが，下流側に向かってこの分布特性はすぐに減衰しており，実験と若干異なる結果となっている．

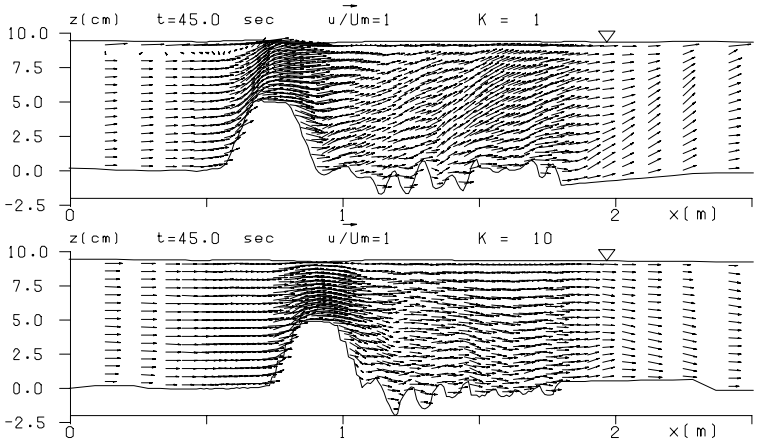
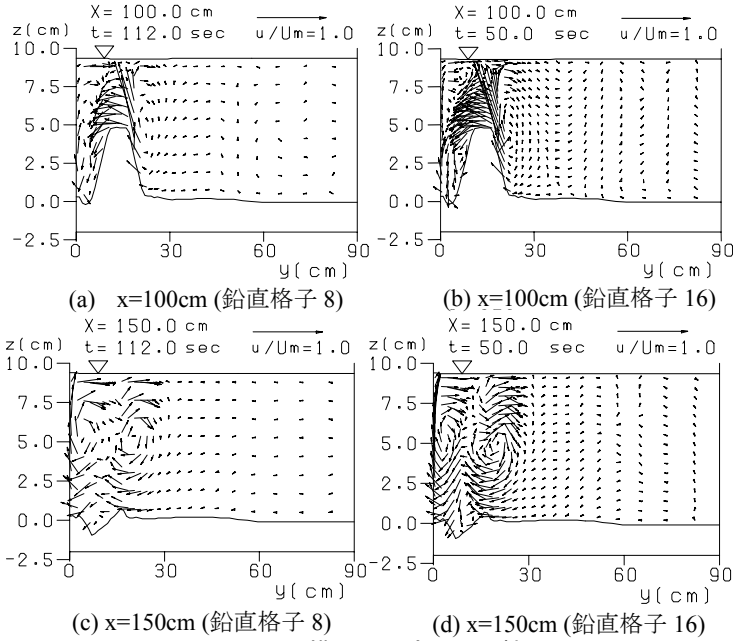


図 4 縦断面内流況（鉛直格子 16 層，上 : y=1cm，下 : y=10cm）

次に水制を超える流れの鉛直面内の挙動について検討する．**図 4** に計算結果の縦断面内の流速ベクトルを，**図 5** には横断面内の流速ベクトルを示した．図 5 については計算格子の解像度の比較おため，鉛直格子が 8 層の場合と 16 層の場合について示している．

まず，**図 4** の計算結果をみると，水制を超えた流れが剥離することなく底面に沿って流れていることがわかる．なお，この図は鉛直方向のスケールを水平方向の５倍に拡大している点に注意を要する．



(a) x=100cm (鉛直格子 8)　(b) x=100cm (鉛直格子 16)

(c) x=150cm (鉛直格子 8)　(d) x=150cm (鉛直格子 16)

図 5　横断面内流況の比較

一方，**図 5** の x=100cm の断面はほぼ水制の先端付近にあたり，水制を超えた流れが岸側の洗掘孔に向かって流入する様子がわかる．このような流れがさらに洗掘を助長することは容易に予想できる．この計算結果は，石垣らが行った可視化実験の結果とも良好に適合している．なお，格子数の影響はほとんどみられない．一方，x=150cm 付近の流れは非常に渡航調的であり，水制先端に対応する y 座標を挟んで２つの時計回りの循環流が形成されている．格子数の違いによる再現性の相違は明確にはみられないが，16 層の場合，岸側の循環流は洗掘孔の奥に向かっているのに対し，8 層の場合にはそのような津おい流れが見られない．この付近の流況は局所洗掘に深く関係するだけに，格子数の適切な設定の重要性が指摘されたといえよう．

５．結語

本研究は，従来から治水上不利とされてきた下流向き越流型水制に着目し，その周辺の三次元流の挙動と洗掘孔の関連性について，実験結果と数値解析結果との比較を通じて検討を行ったものである．数値解析により，水制を越流した流れが岸側に向かい，循環流を形成するという特徴的な流れ場が再現された．今後は実験結果との比較をより厳密に行うとともに，より多くの越流条件について検討を進めていきたい．

参考文献

1) 石垣他：京都周辺における伝統的水害防護法について(2)－桂川中流域・亀岡市における調査－，京大防災年報，第 46 号 B，2003.
2) 木村他：越流型水制周辺の三次元乱流構造に及ぼす水理パラメータの効果，水工学論文集，第 48 巻，pp. 661-666, 2004.