

横越流堰周辺の流れに関する3次元数値解析

鳥取大学工学部	正 員 道上 正規
鳥取大学工学部	正 員 檜谷 治
(株)建設技術研究所	正 員 〇岩本 和也
鳥取県庁	正 員 瀬村 正樹

1. はじめに 横越流堰のある開水路流れに関する研究は、ほとんどが流量配分比(越流流量/上流端流入流量)、横越流部での越流水深の特性にばかり主眼をおき、流れに関する運動方程式を1次元解析することによって検討したものであり、横越流堰流れによる河床変動への影響について、解析的研究がなされていない。そこで、本研究は横越流堰流れによる2次元河床変動解析を行うための第1歩として、3次元解析による流況解析について検討を試みたものである。

2. 基礎方程式 運動方程式および連続の式は、1)分子粘性応力はレイノルズ応力に比べて小さいとして無視し、2)レイノルズ応力の評価に渦動粘性係数の概念を取り入れ、3)鉛直方向流速 w の時間的変化量は微量であると考え静水圧分布を仮定し、次のように示される。

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -g \frac{\partial \xi}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\epsilon_h \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\epsilon_h \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\epsilon_v \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -g \frac{\partial \xi}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\epsilon_h \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\epsilon_h \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\epsilon_v \frac{\partial v}{\partial z} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

ここで、 u, v, w :流速の x, y, z 方向成分、 ξ :基準水平面からの水位変動量、 ϵ_h, ϵ_v :水平および鉛直渦動粘性係数である。

3. 横越流区間における境界条件 本研究では、越流区間における境界条件を単位幅越流流量とした。この単位幅越流流量の越流区間における分配方法は、1次元解析を用いることとした。越流区間の基礎式は、越流区間において、1)底勾配や摩擦抵抗の影響は小さく、2)越流区間において比エネルギーは一定に保たれ、3)越流係数 C は越流区間において一定である、という仮定のもと以下のように与えられる。

$$\text{エネルギー式: } \frac{dh}{dx} = \frac{Q q_* h}{g b^3 h^3 - Q^2} \quad (4) \quad \text{連続の式: } -\frac{dQ}{dx} = q_* = C \sqrt{2g(h-S)^3} \quad (5)$$

ここに、 Q :主水路上流端流入流量、 b :主水路幅、 h :水位、 q_* :単位幅越流流量、 C :越流係数、 S :越流堰高さである。上式を用いて越流流量が実測値と一致するように、単位幅越流流量を求める。この解析結果を用いて3次元解析の越流部における境界条件とするが、その適合性の評価は越流堰近傍の水深分布を実験値と比較することによって行った。

4. 境界条件の妥当性 先の境界条件の妥当性を検討するため、以下の条件によって横越流実験を行った。実験に用いた水路は、越流堰長10cm、越流堰高さ2cm、越流堰上流90cm、下流190cmの矩形断面水路であり、流量 $Q=2.599$ ℓ/s、水路床勾配1/427、下流端平均水深4.3cmの条件で実験を行った。このとき、流量配分比 κ は0.256であった。同条件において、先の境界条件を用いて3次元解析を行った。このときの単位幅越流流量の分布形状を図-1に示し、解析結果と実験値の水面形を比較した図を図-2に示す。図中の x は、越流堰長で無次元化した値である。解析結果を見ると計算値の方が若干小さな値を示しているものの、計算値は比較的良好に実験値を再現していることが

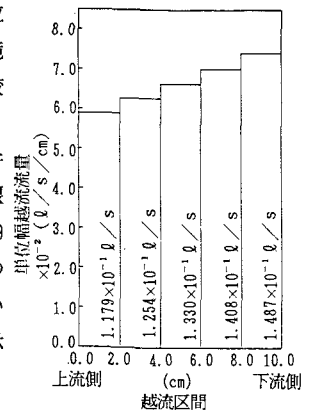


図-1 単位幅越流流量分布図

わかる。また、越流区間における水深低下の特性も十分に再現できており、本計算法の妥当性が示されたと言える。水深の誤差については、1次元解析の精度の向上によってさらに改善されると考えられる。

5. 流況について 本法を、川合ら¹⁾が行った実験に適用した。詳細な解析条件を表-1に示す。まず、図-3にu-vベクトル図を示し、流況について述べる。越流区間においては底面における横断方向流速vは表面のそれよりも大きくなっており、越流堰に対して直角に交わる流れとなっている。このvの影響範囲は水路中央付近までであり、底面の方が表面のそれより大きくなっている。また、底面においては、越流堰下流端付近において逆流が発生する結果となっている。次

表-1 解析条件表

流量 (ℓ/s)	5.000
水路幅 (cm)	50.00
流量配分比	0.50
越流堰高 (cm)	7.00
越流堰長 (cm)	12.50
水路床勾配	1/50
粗度係数	0.0224

越流堰下流端以降においては、越流区間で発生したvの影響で側壁前面においてローラーが発生する結果となっている。川合らの

河床変動実験の結果を図-5に示すが、侵食領域は横越流堰下流端付近より最下流端までおよんでいるが、これはこのローラーによって引き起こされていると考えられる。

6. おわりに 本研究において、横越流堰を有する開水路流れの境界条件の与え方について検討したが、再現性は非常によく本手法の妥当性が示された。今後はこの流れを用いて2次元河床変動解析を行っていく予定である。

参考文献：1) 川合茂ら：開水路分岐部における流量・流砂量配分に関する研究、1991年

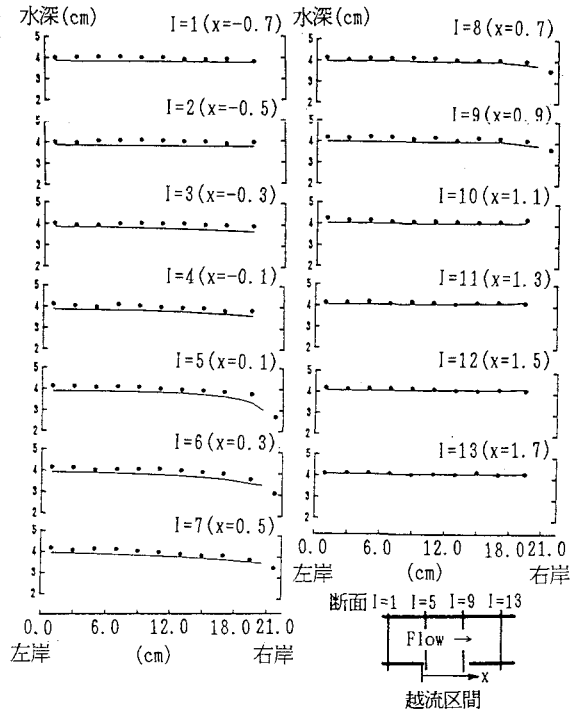


図-2 解析結果と実験値の水面形比較図

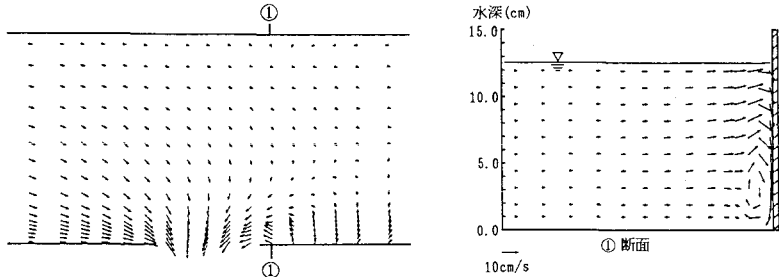


図-4 v-wベクトル図

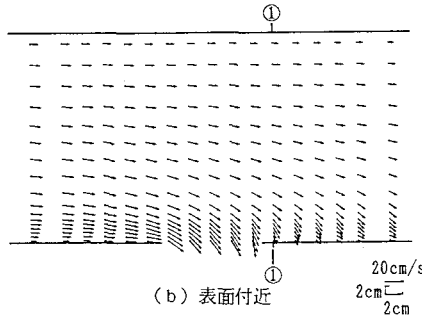


図-3 u-vベクトル図

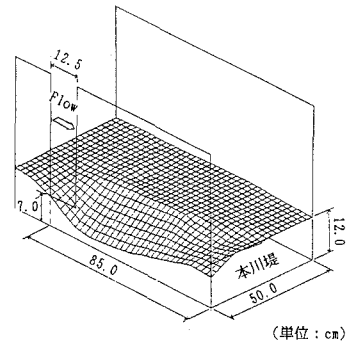


図-5 河床形状の鳥瞰図