

大型床固めに接続する魚道周辺の三次元流況—大型水理実験と準三次元解析による比較検討

中央大学研究開発機構

正会員 ○竹村 吉晴

国土交通省北陸地方整備局信濃川河川事務所

正会員 小野伊佐緒

建設技術研究所 水理センター

正会員 伊藤 幸義

中央大学研究開発機構

フェロー 福岡 捷二

1. 目的

信濃川の大河津分水路に新設される新第二床固は9mもの落差を有する。信濃川は平水流量が大きく、融雪期には750m³/s程度になる。越流部直下の跳水を伴う流れが接続する魚道周辺の三次元流況に与える影響が心配されることから、大型水理実験と跳水を伴う流れの準三次元解析法より比較検討する。

2. 跳水を伴う流れの準三次元解析法の概要

著者らは、内田・福岡のGBVC法を拡張し、跳水を伴う流れを解析してきた¹⁾。しかし、完全跳水による水面下の逆流域の計算には、剥離条件を設け剥離渦を供給する必要があった。完全跳水は水面に沿った流れが逆流することで生じるため、水表面流速を計算し、逆流による流速鉛直分布の変形に伴う三次元的な運動量輸送や圧力分布を考慮できれば、水深積分モデルの枠組みで計算可能と考えられる。そこで、式(1)～式(4)に示す水表面流速と底面流速の運動方程式を導き、これらから計算される水表面流速と底面流速を流速鉛直分布の境界条件とした準三次元解析法を構築した。

$$\frac{\partial u_{si}}{\partial t} + u_{sj} \frac{\partial u_{si}}{\partial x_j} = -g \frac{\partial z_s}{\partial x_i} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial dp}{\partial z} \Big|_s - \frac{1}{\rho} \frac{\partial dp_b}{\partial x_i} + \frac{\partial 2\nu_{ts} s_{ijs}}{\partial x_j} + \nu_{ts} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \Big|_s \quad (1)$$

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial dp}{\partial z} \Big|_s = -\frac{\partial w_s}{\partial t} - u_{si} \frac{\partial w_s}{\partial x_i} - w_{sb} \frac{\partial w}{\partial z} \Big|_b \quad (2)$$

$$\frac{\partial u_{bi}}{\partial t} + u_{bj} \frac{\partial u_{bi}}{\partial x_j} + w_{sb} \frac{\partial u_i}{\partial z} \Big|_b = -g \frac{\partial z_s}{\partial x_i} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial dp_b}{\partial x_i} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial dp}{\partial z} \Big|_b \frac{\partial z_b}{\partial x_i} + \frac{\partial 2\nu_{tb} s_{ijb}}{\partial x_j} + \nu_{tb} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \Big|_b \quad (3)$$

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial dp}{\partial z} \Big|_b = -\frac{\partial w_b}{\partial t} - u_{bj} \frac{\partial w_b}{\partial x_j} - w_{sb} \frac{\partial w}{\partial z} \Big|_b \quad (4)$$

ここで、 $i=1, 2$ (1:x 方向, 2:y 方向), u_{si} , u_{bi} : i 方向の水

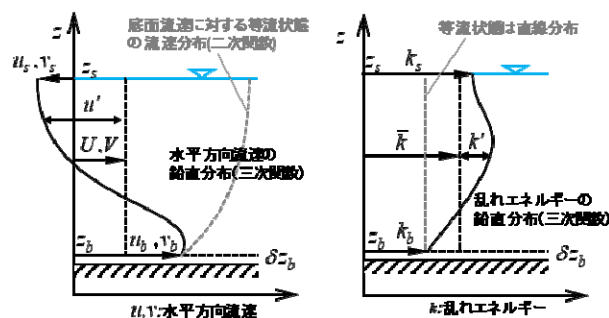


図-1 水平方向流速と乱れエネルギーの鉛直分布

表面流速と底面流速, w_s , w_b : z 方向の水表面流速と底面流速, g : 重力加速度, ν_{ts} , ν_{tb} : 水表面と底面での渦動粘性係数, ρ : 水の密度である。 w_{ob} は単位平面積当たりの底面からのフラックスであるが本研究では簡単のため無視した。水深平均流の基礎方程式は内田・福岡のGBVC法と同様である。また、乱流モデルには式(5)、式(6)に示す1方程式モデルを用いる。

$$\frac{\partial \bar{k}}{\partial t} + U_j \frac{\partial \bar{k}}{\partial x_j} = \frac{1}{h} \left(-\frac{\partial u_i' k'}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \frac{h \bar{\nu}_t}{\sigma_k} \frac{\partial \bar{k}}{\partial x_j} \right) + \bar{p}_k - c_d \frac{\bar{k}^{3/2}}{l_d} \quad (5)$$

$$\frac{\partial k_s}{\partial t} + u_{sj} \frac{\partial k_s}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \frac{\nu_{ts}}{\sigma_k} \frac{\partial k_s}{\partial x_j} + \nu_{ts} \frac{\partial^2 k}{\partial z^2} \Big|_s - c_d \frac{k_s^{3/2}}{l_d} \quad (6)$$

ここに $\bar{k}$, k_s : 水深平均の乱れエネルギーと水面での乱れエネルギー, $c_d=0.08$, $\sigma_k=1.0$, $l_d=0.1h$ である。式(1)～式(6)のせん断応力項や乱れエネルギーの生産項は、等流状態において水平方向流速の鉛直分布が底面流速に応じた二次関数 $((u-U)/u_* = (1-3\eta^2)/\kappa)$, $\eta=(z_s-z)/h$, κ : カルマン定数(0.41), 乱れエネルギーの鉛直分布が直線分布 $(1/6\kappa u_* h)$ になるように定式化した。

3. 大型水理実験と準三次元解析による新第二床固魚道周辺の三次元流況の比較検討

国土交通省信濃川河川事務所は、融雪期相当流量(750m³/s)時の新第二床固魚道周辺の三次元流況について1/10縮尺の大型水理実験を行っている。跳水を伴う流れの準三次元解析法を魚道に適用し大型水理実験

キーワード 大河津分水路, 魚道, 準三次元解析, 跳水, 一般底面流速解析法

連絡先

〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 31214 号室 TEL 03-3817-1615

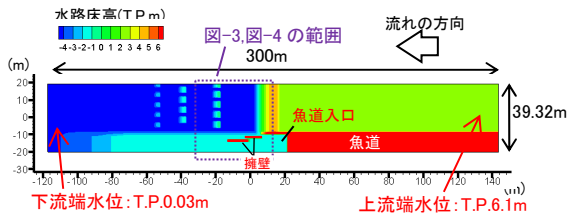


図-2 新第二床固に接続する魚道周辺の三次元流況の計算条件 (現地換算値 (1/10 縮尺))

と比較検討する。計算条件は図-2 に示す通りである (数値は現地換算値)。魚道内の流れを計算することは困難であるため、計算条件に魚道入口で計測された流速値を与えている。

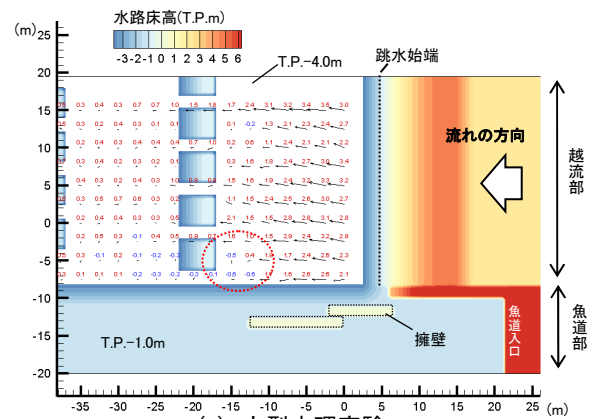
図-3 は、T.P.-3.5m(底面から 50cm)の実験と本解析法による底面流速の平面分布の比較、図-4 は、T.P.-0.5m(水面から約 50cm)の実験と本解析法による水表面流速の平面分布の比較を示す。数値は流速の絶対値を示し赤色は順流、青色は逆流を表す。実験では、図-3(a)、図-4(a)に示すように跳水始端から水面で逆流が生じ底面に潜り込む流れが生じている。図-3(b)、図-4(b)に示す本解析法でも同様の傾向が計算できており、本解析法により跳水に伴う水面下の逆流が計算できることが分かる。一方、実験では図-3(a)赤丸に示すように、魚道に近い一列目のバップルピア前面で底面流速が逆流しているが、図-3(b)の本解析法は逆流範囲が広く計算される。同様に、図-4(b)の本解析法の水表面流速は、越流部と魚道部の境界付近で図-4(a)の実験では見られない平面的な渦構造が確認される。

次に魚道部の流れについて検討する。越流部と魚道部の境界には、越流部直下の跳水を伴う流れの影響により、魚道部の流れが逆流しないように 2 つの擁壁が設置されている。図-4(a)、図-4(b)に示す実験と本解析法ともに、擁壁により越流部直下の逆流の影響は魚道部に及ばず、魚道部の流れは順流となっている。

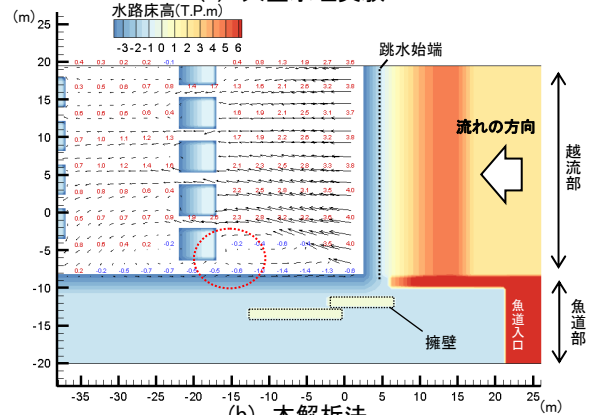
5. 結論

融雪期相当流量 (750m³/s) 時の新第二床固に接続する魚道周辺の三次元流況について、大型水理実験と跳水を伴う準三次元解析から比較検討した。越流部直下では、底面付近に潜り込む流れが生じ、水表面付近で逆流が生じる。越流部と魚道部の境界に設置された擁壁により魚道部の流れは順流となることを示した。今後、大型水理実験と数値解析で見られた違いについて検討を進めるとともに、異なる流量規模に対する魚道周辺の三次元流況について検討を進める予定である。

参考文献: 1) 竹村吉晴, 福岡捷二, 日下部隆昭: 大きな水面変

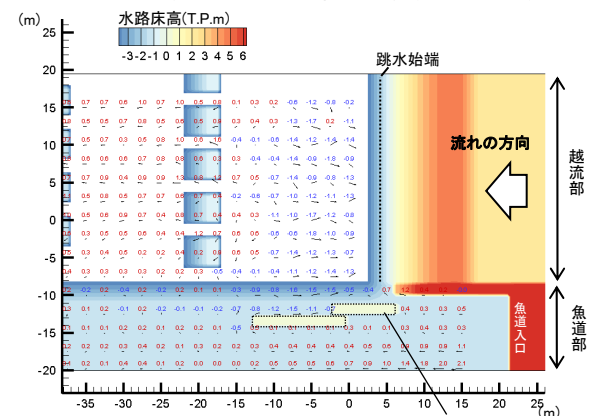


(a) 大型水理実験

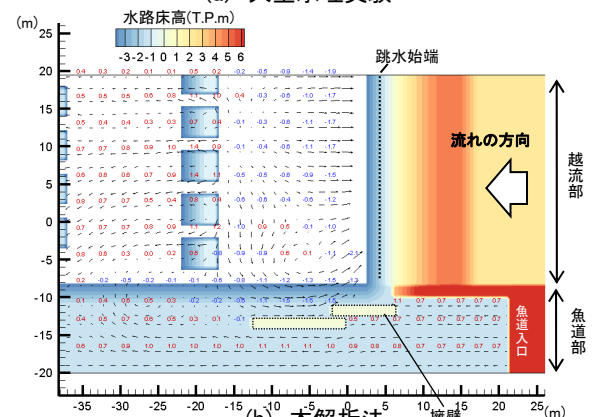


(b) 本解析法

図-3 底面流速の平面分布の比較 (T. P. -3.5m)



(a) 大型水理実験



(b) 本解析法

図-4 水表面流速の平面分布の比較 (T. P. -0.5m)

形を伴う構造物周辺の流れ解析 (GBVC-FSV 法—自由水面渦度の生成と供給機構の導入, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.73, No.4, I_667-I_672, 2017.