

### 潜り跳水中の偏向流れの制御に関する実験的検討

Experimental investigation on artificial control for periodical deflected flow in submerged hydraulic jumps

日本大学理工学部土木工学科 正会員 安田 陽一  
日本大学理工学部土木工学科 学生会員 ○豊田 健治

#### 1. まえがき

放水路やダムのカムアウトレットなどからの高速流の減勢、水門が開閉したことによって生じる高速流の減勢、あるいはダム洪水吐きからの高速流を減勢させる場合に減勢池内での跳水の形成が利用される<sup>1)</sup>。被りの大きい潜り跳水の場合、主流が底面から水面に向かって上昇し始めた段階で主流の流向が不安定になる（ここでは不安定偏向流れと呼ぶ）ことが示され、その形成領域を明らかにした<sup>2)</sup>。河川内に生息する水生生物の生態系保全の観点から、横断落差構造物が設置された場合、連続性を確保するために、魚道整備が求められている<sup>3)</sup>中で、ゲート下流側で潜り跳水が形成される場合、遊泳魚を円滑に魚道まで誘導できる溯上経路を確立する必要がある。ここでは、バップルを利用した偏向流れの制御を提案し、制御の前後の流速場を比較するためにバップル設置位置周辺の流速場に注目して、実験的に検討を行った。

#### 2. バップルによる制御の有効性

潜り跳水において発生する非定常性を伴う偏向流れを制御するため、バップルの設置を提案し、その特徴を以下に示す。

- ・跳水中の主流が底面から水面に向かって上昇するときに、バップルを設置することによって主流が安定した状態で上昇するようになる。バップルの高さを最小限にとどめる。
- ・流量規模およびゲート上流側の水位が最も大きい状態で形成される潜り跳水の遷移長の6割の箇所にはバップルを設置する。
- ・主流をバップルに衝突させたときにバップルが滑動せず安定化しやすくするために、バップルの形状を45°の傾斜角を有する三角柱とする。

#### 3. 実験概要

幅  $B=0.80\text{m}$ 、上流部高さ  $1\text{m}$ 、下流部高さ  $0.6\text{m}$ 、全長  $L=15\text{m}$  の長方形断面水平水路を用いて実験を行った。スルース・ゲート開口高さ  $a$ 、スルース・ゲート直上流側の水深  $h_u$ 、スルース・ゲート下流側の水深（跳水が形成されている場合は終端水深） $h_d$ 、および流量  $Q$  を変化させ、表1に示す実験条件のもとで検討した。偏向流れを制御するため、バップル（高さ  $3.5\text{cm}$ 、 $45^\circ$  の傾斜角を有する三角柱）をスルース・ゲートから  $x=212\text{cm}$  の箇所に設置した。潜り跳水の流況観察およびポイントゲージを用いた水深測定を行った。ゲート直下の水深  $h_3$  については鋼尺を用いて計測した。流速の測定には、ケネック社製2次元電磁流速計を用いた（計測時間  $120\text{秒}$ 、採取間隔  $40\text{ms}$ ）。



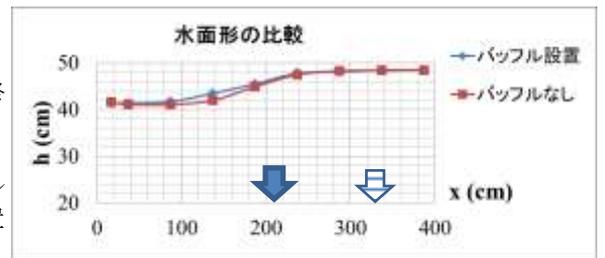
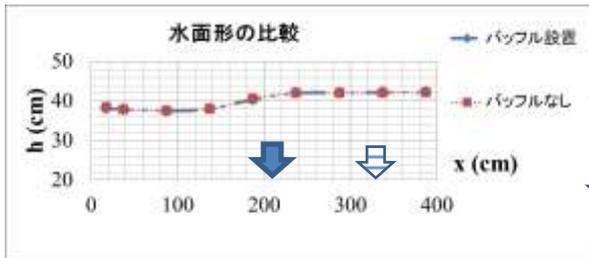
1) バップルで制御した状態 (Case 1)    2) 不安定偏向流況 (Case 2)    3) バップルで制御した状態 (Case 3)

写真1 潜り跳水において偏向流況が形成される流況

表1 実験条件

Case	$Q (\text{m}^3/\text{s})$	$h_u (\text{cm})$	$h_3 (\text{cm})$	$h_d (\text{cm})$	$a (\text{cm})$	備考
Case 1	$0.1127 \text{ m}^3/\text{s}$	70	42.7	48.52	9.78	バップル設置
Case 2	$0.1127 \text{ m}^3/\text{s}$	70	42.7	48.52	9.78	バップルなし
Case 3	$0.0553 \text{ m}^3/\text{s}$	70	38.8	42.00	4.80	バップル設置
Case 4	$0.0553 \text{ m}^3/\text{s}$	70	38.8	42.00	4.80	バップルなし

$a$  : ゲート開口高さ  
 $h_3$  : 被り水深  
 $h_d$  : 遷移終端水深  
 $h_u$  : ゲート直上流側の水深  
 $Q$  : 流量



1)  $F_o=3.45$ ,  $h_3/h_o=11.26$ ,  $h_d/h_o=12.19$ ,  $h_u/a=14.58$

2)  $F_o=2.66$ ,  $h_3/h_o=6.489$ ,  $h_d/h_o=7.374$ ,  $h_u/a=7.16$

図1 水路中央部での水面形状

キーワード 潜り跳水, 偏向流れ, バップル, 迷入防止, 局所流

連絡先: 〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8, TEL:03-3259-0409, E-mail: yokyas@civil.cst.nihon-u.ac.jp

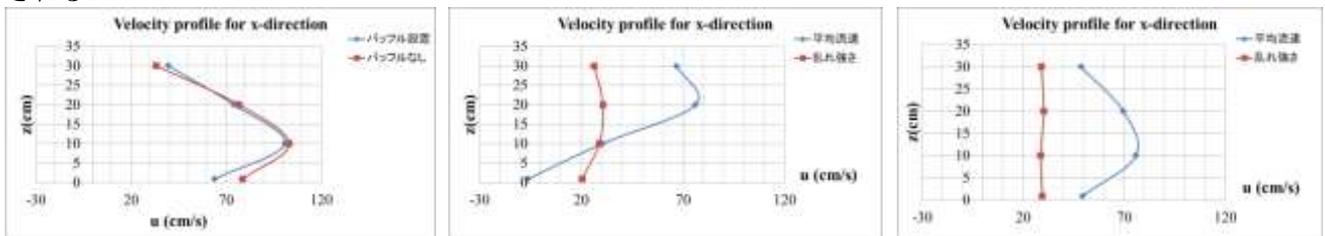
4. 潜り跳水内の流況とその水面形状

潜り跳水において非定常に偏向する流況が形成するための水深間の関係に設定した流況を写真1に示す。非定常な偏向する流れが形成されると、水面付近で不規則な湧き上がりが大きいため、水面変動が大きくなる。その一方で、偏向する流れを制御するためにバップルを設置した場合、湧き上がりの位置がほぼ同じところとなり、不規則な湧き上がりがなくなった分、水面変動が制御された状態となった。図1にバップルを設置した場合と設置していない場合の水面形を比較したものを示す。流量規模が異なる場合でも、図に示されるように、バップルの設置位置が主流を強制的に水面に向けて上昇させる位置ではないので、バップルの設置有無による水面形の違いは小さい。

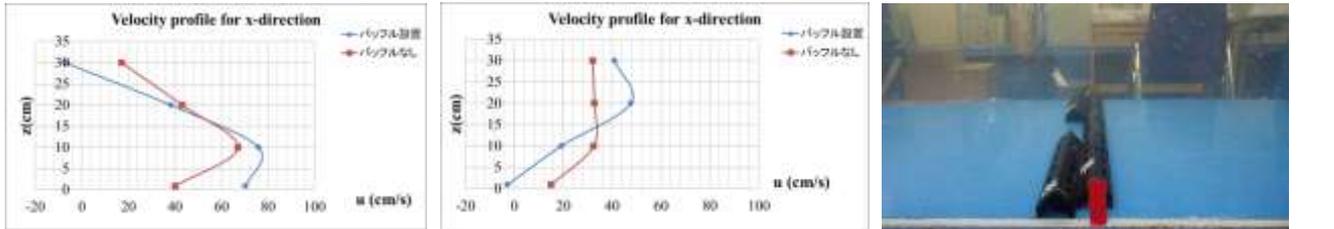
5. バップル設置位置周辺の潜り込み跳水内の流速分布とそのスペクトル解析結果

図1に示す流況を対象にバップル設置位置周辺の流下方向(x方向)成分の流速の水深方向(z方向)変化を図3,4に示す。なお、図3ではx方向の乱れ強さの分布を含む。バップル設置位置(x=212cm, x/Lsj≈0.64; Lsj:遷移領域の長さ)の直上流側の位置(x=202cm)ではバップルの設置有無による流速分布の違いは小さい。その一方、バップル直下流側の位置(x=260cm)ではバップルによって定常的に主流が水面に上昇するため、バップルの設置有無による流速分布が異なる。

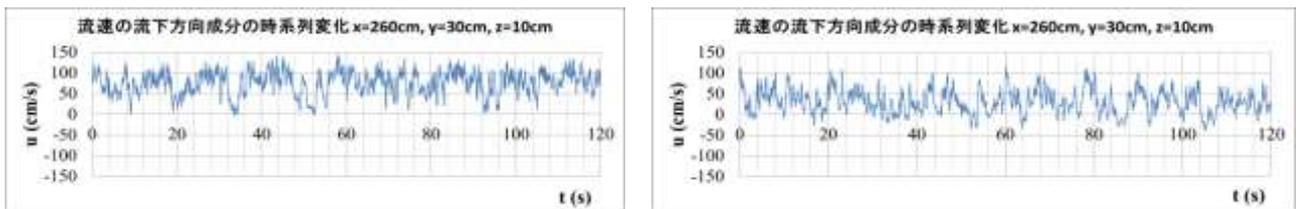
バップル設置有無による流速変動の違いを検討するため、 $F_0=2.66, h_4/h_0=7.374, h_u/a=7.16$  における  $x=260\text{cm}, z=10\text{cm}, y=30\text{cm}$  での x 方向成分の流速の時系列変化およびスペクトル解析した結果を図5,6に示す。バップルを設置していない場合、非定常な偏向流れの影響で、周期が長い(振動数の短い)変化が卓越する。その一方で、バップルを設置した場合、定常的に主流が水面に上昇するため、卓越周期が多様化していることが確認される。



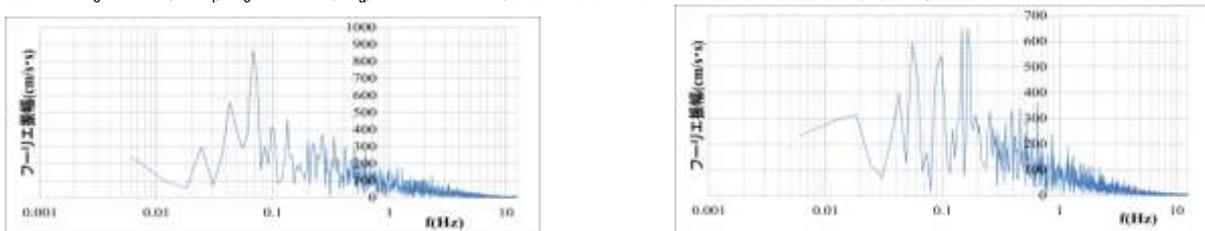
1)  $x/Lsj = 0.607$  での流速分布      2) バップル設置 ( $x/Lsj = 0.742$ )      3) バップルなし ( $x/Lsj = 0.742$ )  
 図3  $F_0=2.66, h_4/h_0=7.374, h_u/a=7.16$  の場合の流下方向成分の流速の水深方向変化



1)  $x/Lsj = 0.607$  での流速分布      2)  $x/Lsj = 0.742$  での流速分布      写真2 バップル模型 (高さ: 3.5cm)  
 図4  $F_0=3.45, h_4/h_0=12.19, h_u/a=14.58$  の場合の流下方向成分の流速の水深方向変化



1) バップルを設置していない場合      2) バップルを設置している場合  
 図5  $F_0=2.66, h_4/h_0=7.374, h_u/a=7.16$  の場合の流下方向成分の流速の時系列変化



a) バップルを設置していない場合      b) バップルを設置している場合  
 図6  $F_0=2.66, h_4/h_0=7.374, h_u/a=7.16$  の場合の流下方向成分の流速のスペクトル解析結果

参考文献

- 1) 建設省河川局監修, 改訂新版 建設省河川砂防技術基準(案)同解説・設計編[II], 技法堂出版, 1999.
- 2) 安田陽一, 富田麻理子, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.71, No.4, pp.534-540, 2015.
- 3) 安田陽一, 技術者のための魚道ガイドライン-魚道構造と周辺の流れからわかること-, コロナ社, 154 pages, 2011.