

減勢池内の空気混入分布の特性

日本大学理工学部	正会員	安田 陽一
日本大学理工学部	正会員	大津 岩夫
日本大学理工学部	正会員	高橋 正行
日本大学大学院理工学研究科	学生員	小林 純
日本大学理工学部	学生員	○岡田 英嗣

落差を伴った河川横断構造物から越流する流れは空気混入した流れとなる場合が多い。また、白濁した流れは河川の水質、水生生物の生息・遡上環境に大きく影響する。河川環境に配慮した河川構造物を水理設計する上で、空気混入した流れが常流中に突入したときの流況特性および突入した流れに含まれた気泡が連行される領域を知る必要がある。従来、模型を用いた構造物周辺の水理実験では、構造物から越流する流れに空気はほとんど混入されず、気泡混入の影響は明らかにされていない。最近、傾斜水路における跳水において、流入射流の空気混入の有無および下流水深の大小によって跳水中の渦の形成が大きく変化することを見出している¹⁾。ここでは、下流水深および流入射流の空気混入量を変化させて、常流中の空気混入の分布と跳水内部の流速ベクトルとの対応を示し、気泡が連行された領域(気泡混在領域)を明らかにした。また、跳水長と気泡混在領域との比較を行った。

実験 実験は幅 40cm、長さ 10m の長方形断面水路に設置された傾斜角 30 度の傾斜模型を用いて表-1 に示す条件の基で実施した。表-1 中の F_1 は跳水始端でのフルード数($F_1 = V_1 / \sqrt{gh_1 \cos \theta}$; h_1 : 水に換算した射流水深; V_1 : 断面平均流速 q_w/h_1 ; q_w : 水の単位幅流量)、 C_{mean} は断面平均した空気混入率(空気量/(空気量+水の量))、 h_d は下流水深、 h_2 はベランジャーの式($h_2 = h_1 (\sqrt{8F_1^2 \cos \theta + 1} - 1)/2$)から求めた常流の共役水深である。

流入射流に空気混入させる場合、傾斜面上を階段状水路とした¹⁾²⁾。また、ステップの高さを変化させて気泡の混入率を変化させた。射流が跳水中に突入する際、跳水部の流れが階段状水路の凹凸の影響を受けないために跳水直上流側から滑面水路とした。跳水部の空気混入量を調べるため、点電極型ボイド計ならびに透過光式ボイド計を用いた。特に跳水始端から主流が底面に沿って流下する領域では点電極型ボイド計により計測を行い、主流が水面に向かって上昇し始めたところから下流側では透過光式ボイド計を用いた。

流況 流入射流に空気混入が生じた場合、図-1 に示されるように、水路接合部から跳水が形成された状態から下流水深を増加させると跳水が傾斜面と水平面とにまたがって形成されるようになる。この状態からさらに下流水深を増加させると、ある段階で、跳水が傾斜面上に形成されるようになる。なお、流入射流に空気混入が生じていない場合、水路傾斜角が 30 度で下流水深が大きい場合、跳水が傾斜面上に形成されず、高速流が底面に沿って下流側遠方まで続く³⁾。

跳水内部の流速ベクトルと空気混入の分布 流入射流に空気混入が生じた場合の跳水内部の流速ベクトルと空気混入分布を図-2 に示す。

跳水始端が水路接合部に位置する場合 図-2(1)に示されるように、流入射流に空気が混入されているのに加えて、跳水始端から跳水自身で空気を跳水部に連行しているため、跳水始端近くで空気混入率の値が大きくなっている。また、空気混入された射流が跳水部に向かって水平に突入し、表面渦を伴った逆圧力勾配の水面形の形成に伴い、主流が底面から水面に向かって上昇する前に空気混入率の大きい領域が先行して浮力の影響を受けて水面に向かって上昇している。さらに、空気混入した流れは主流に連行されて跳水終端より下流側まで続いている。なお、跳水始端での断面平均した空気混入率 C_{mean} の大きさが 0.21 の場合と 0.39 の場合との違いは顕著ではない。

跳水始端が傾斜面上に位置した場合 空気混入された射流の突入角が 30 度となり、気泡が主流とともに連行され、跳水始端での C_{mean} の値が 0.38 の場合、図-2

表-1 実験条件

水路傾斜角 θ : 30 度
流入射流のフルード数 : $5.78 \leq F_1 \leq 7.5$
流入射流の空気混入率 : $C_{mean} = 0.201 \sim 0.21, 0.38 \sim 0.39$
下流水深 : $0.99 \leq h_d/h_2 \leq 4.21$

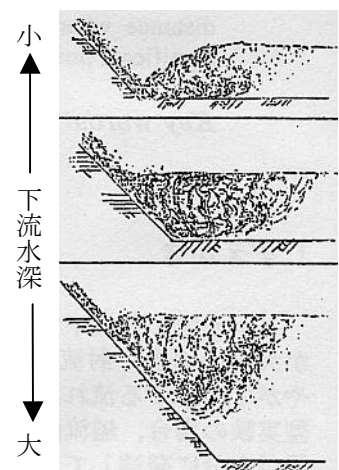


図-1 傾斜水路における空気混入された流入射流を有する跳水の流況

キーワード：減勢池、跳水、気泡混入、河川構造物、河川環境

連絡先 〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8 Tel&Fax03-3259-0409

(2)に示されるように、主流が短区間で底面から水面に向かって上昇するようになる。また、跳水路に連行された気泡は、主流の影響を受けて、下流側に押し流された状態となり跳水路終端より下流側で水面近くに達している。

始端での C_{mean} の値が 0.201 の場合、図-2(3)に示されるように、気泡混入量が $C_{mean}=0.38$ の場合に比べて小さいことから、主流が底面から水面に向って上昇しはじめる位置が $C_{mean}=0.38$ の場合より下流側となる。これに伴い主流に連行された気泡が下流側に向かって流れようとするが、浮力の影響を受けて主流より早い段階で水面に向かって上昇するようになる。また、気泡が水面に向かって上昇しはじめたとき、逆流の影響を受けて、気泡の大部分が跳水路終端より上流部で水面近くに達した。

跳水路長と気泡混在領域との比較 跳水路長と気泡が連行された領域(気泡混在領域)との比較を図-3に示す。なお跳水路長 L_j は跳水路始端から水面において常に逆流が観察されなくなった最初の断面までの水平長さとし、気泡混在領域 L_B は跳水路始端から気泡が水面近くに上昇し、空気混入の分布が流下方向に変化しなくなった最初の断面までの水平長さとしている。

図に示されるように、下流水深 h_d/h_2 の値による気泡混在領域 L_B/h_2 の変化は小さく、ほぼ $L_B/h_2=9$ を示す。一方、跳水路長については跳水路始端での C_{mean} の大きさによって下流水深の変化に伴う跳水路

長の変化が異なる。 $h_d/h_2=0.99$ の場合(跳水路始端が水路接合部に位置する場合)、気泡混在領域は跳水路長よりも長くなる。 $C_{mean}=0.38-0.39$ の場合、下流水深の増加に伴い、跳水路中の主流の流速が短区間で減衰するため、気泡混在領域は跳水路長より大きくなる。 $C_{mean}=0.20-0.21$ の場合、下流水深の増加に伴い、主流の減衰に対する空気混入の影響は小さくなり、気泡混在領域は跳水路長より小さくなる。

謝辞： 本研究は日本大学学術助成金(学術フロンティア推進事業)の助成を受けた。ここに記して謝意を述べる。

参考文献

- 1) 安田陽一,高橋正行, 小林純 ,大津岩夫(2002),傾斜水路の跳水路特性に対する空気混入射流の影響,水工論文集,土木学会,第46巻, pp. 601-605.
- 2) 高橋正行,安田陽一,大津岩夫(2001),階段状水路における Skimming flow のエネルギー減勢,水工論文集,土木学会,第45巻, pp. 415-420.
- 3) Ohtsu,I. and Yasuda,Y.(1991), Hydraulic Jump in Sloping Channels, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol.117(7), pp. 905-921.

$C_{mean} = 0.21, F_1 = 6.51, h_d/h_2 = 1.01, L_B/d_1 = 70.0, L_j/d_1 = 45.0$

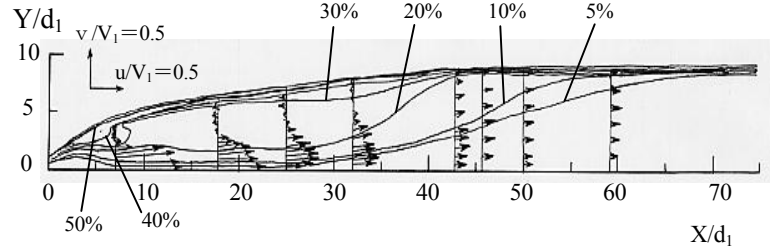


図-2(1) 流速ベクトルと空気混入率のコンター図($h_d/h_2=1.01$ の場合)

$C_{mean}=0.38, F_1 = 5.78, h_d/h_2 = 4.21, L_B/d_1=65.5, L_j/d_1=38.5$

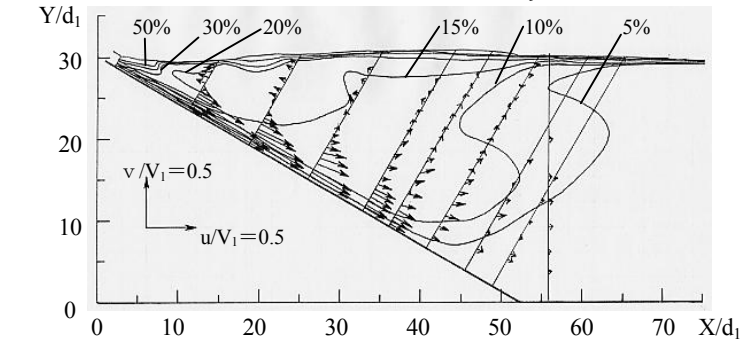


図-2(2) 流速ベクトルと空気混入率のコンター図($C_{mean}=0.38, h_d/h_2=4.2$)

$C_{mean}=0.201, F_1 = 7.5, h_d/h_2 = 3.54, L_B/d_1=81.3, L_j/d_1=137.6$

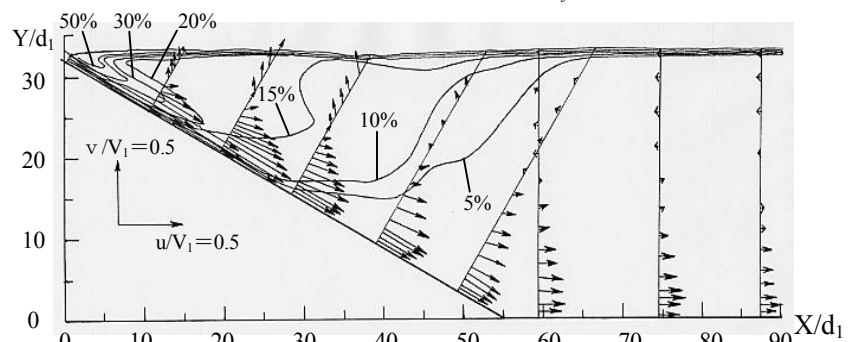


図-2(3) 流速ベクトルと空気混入率のコンター図($C_{mean}=0.201, h_d/h_2=3.7$ の場合)

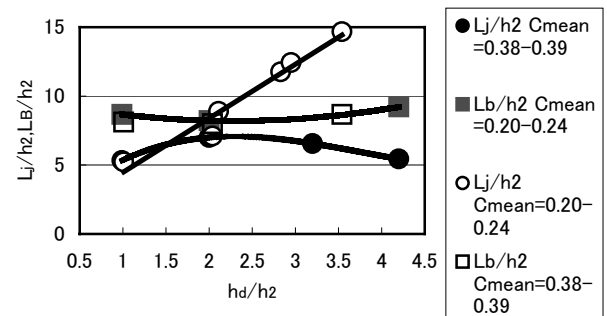


図-3 跳水路長と気泡混在領域との比較