傾斜水路の跳水特性に対する気泡混入射流の影響

- 日本大学大学院理工学研究科 学生員 〇 小林 純 日本大学理工学部 正会員 安田 陽一
 - 日本大学理工学部 フェロー会員 大津 岩夫

はじめに

従来、流入射流に気泡が混入されていない場合(non-aerated inflow)について水平水路および傾斜水路の跳水特性に関する実験 的検討が行われてきた^{1)~3)}。最近、著者らは傾斜水路の跳水を対 象とし,流入射流の気泡混入の有無によって流況、流速特性、お よび跳水長に違いが生じることを示した^{4),5)}。堰やダムなどの落差 を伴う構造物から流下する高速流には気泡が混入されている場合 が多いことから、流入射流に気泡が混入されている場合(aerated inflow)の跳水特性を知ることは水工設計上重要である。しかし、 水路傾斜角度、下流水深および流入射流の気泡混入量による跳水 長の変化には不明な点が多く、気泡混入射流による傾斜水路にお ける跳水内部の気泡混入量が流入射流の気泡混入量によってど のように変化するのかについては明らかにされていない。

本研究では水路傾斜角度 *θ*=30°および 55°の傾斜水路におい て射流から常流へ遷移する流れを対象とし、流入射流における気 泡混入量による遷移長の変化を示し、流況の区分を明らかにした。 また、流入射流の気泡混入量による跳水部の気泡混入量の変化に ついて実験的に検討を行った。

実験方法

 θ =30°、55°の傾斜水路において射流から常流へ遷移する流れ を対象とし、表-1に示す実験条件のもとで流入射流の気泡混入 量による跳水特性について実験を行った。ただし、ここで示され る流入射流の気泡混入量とは断面平均された気泡混入率 C_{mean} を 表している。なお、aerated inflowを形成させるために階段状水路 ^のを用いた。流入射流および遷移部内部における断面平均された気 泡混入率 C_{mean} は点電極型ボイド率計を用いて測定した(採取時間 60s、採取間隔 5ms)。



流況

傾斜水路において射流から常流へ遷移する流れの流 況は次元解析的考察から水路傾斜角度 θ 、流入射流のフ ルード数 F_1 、相対下流水深 h_d/h_2 および流入射流の気泡 混入量を表す無次元量 C_{mean}/C_M によって変化するもの と推論される。ここで、 C_M はレイノルズ数 $R_e(R_e=V_1d_1/\nu=q_w/\nu;\nu$ は水の動粘性係数)が 30000 $\leq R_e \leq 300000$ の範 囲において傾斜面上を自然流下する際の射流における

表-1 実験条件

$\theta = 30^{\circ}$	$\theta = 55^{\circ}$
$0 \leq C_{mean} \leq 0.38$	$0 \leq C_{mean} \leq 0.55$
$5.8 \leq F_I \leq 7.4$	$7.1 \leq F_l \leq 13$
$1.0 \leq h_d/h_2 \leq 4.2$	$1.0 \leq h_d/h_2 \leq 6.0$
4.0 cm $\leq d_c \leq 8.0$ cm	4.0 cm $\leq d_c \leq 8.3$ cm

$$F_{1}, C_{mean}, h_{2} \mathcal{O}定義$$

$$F_{1} = \frac{V_{1}}{\sqrt{gd_{1}\cos\theta}} = \frac{q_{w}}{\sqrt{gd_{1}\cos\theta}d_{1}}$$

$$C_{mean} = \frac{1}{y_{0.9}} \int_{0}^{y_{0.9}} Cdy$$

$$h_{2} = \frac{d_{1}}{2} \left(\sqrt{8F_{1}^{2}\cos\theta + 1} - 1\right)$$

C: *y*=*y*における気泡混入率⁶

 $d_c: 限界水深$

d₁:遷移部始端での水のみに換算した水深

F₁:流入射流のフルード数

g:重力加速度

 $h_d: 下流水深$

qw: 単位幅流量

 V_l : 遷移部始端での断面平均流速($V_l=q_w/d_l$)

y:水路床からの垂直距離

y09: 遷移部始端での C=90%となる yの値



キーワード:減勢工、傾斜水路、減勢池、気泡混入流れ、気泡混入、跳水 連絡先:〒101-8303 東京都千代田区神田駿河台 1-8;Tel.&Fax.:03-3259-0668;E-mail:yokyas@civil.cst.nihon-u.ac.jp C_{mean} の最大値を示している(本実験において $\theta=30^{\circ}$ の 場合 C_M=0.38、 θ=55°の場合 C_M=0.55)。同一の水路傾 斜角度 θおよび流入射流のフルード数 F₁ に対し、流入 射流の気泡混入量および相対下流水深の変化に対する 流況の変化を以下に説明する。

 C_{mean} / C_M が小さい場合(0 $\leq C_{mean}/C_M < 0.6$,図-2a)~ c)参照)、水路水平面上に跳水が形成されている状態から 相対下流水深を増加させると傾斜面と水平面とにまた がって跳水が形成され、表面渦の形成領域が大きくなる。 相対下流水深をさらに増加させていくと高速流が水路 底面付近に沿って下流側遠方まで続き、逆流域が広範囲 にわたって形成される。

 C_{mean} / C_M が大きい場合(0.8 < C_{mean} / $C_M \leq 1.0$ 、図-2d) ~f)参照)、流入射流の気泡混入量および相対下流水深の 大小に関わらず表面渦の形成される領域に大きな変化 は認められない。これは流入射流に気泡が混入された場 合、跳水内部において水路底面付近に位置する主流に気 泡が連行され、気泡の浮力によって短区間で主流が水路 床から水面に向かって上昇しやすくなるためである。こ の結果、下流水深が十分大きくなると水路傾斜面上で跳 水が形成される。

流入射流の気泡混入量による遷移長の変化

流入射流の断面平均された気泡混入率CmeanをCMで除 した量 C_{mean}/C_M による遷移長 L_i/h_2 の変化を図-3に示 す。ここで、遷移長Liは遷移部始端から逆流が常に観察 されなくなった断面までの水平距離を示し、遷移部終端 では流速が十分減衰している4)。図に示されるように、 下流水深が十分大きい場合(h_/h2 = 3.2~3.5)、 $C_{mean}/C_M \leq 0.6 \ \ C_{L_1}/h_2 \approx 14 \sim 16 \ \ b \ \ c_{mean}/C_M \leq 0.8$ で L_i/h_2 は大きく減少し、 $C_{mean}/C_M > 0.8$ で $L_i/h_2 = 5 \sim 6$ と なり自由跳水長²⁾とほぼ同じ値を示す。なお、θ=30° と 55° との違いは認められない。また、水路接合部に 跳水始端が位置する場合(h_d/h₂=1.0~1.1)、水面勾配の影 響で跳水部に気泡が混入されやすく θおよび Cmean/CM の大きさに関わらず $L_i/h_2=5\sim 6$ となる。

流入射流の気泡混入量による跳水部の気泡混入量の変化

跳水部の気泡混入量の変化を図-4に示す。ただし、 跳水始端での気泡混入率 Cmean が CM となる場合を対象と する。また、C。は跳水部の各測定断面において y=0 から y=y09 までの平均された気泡混入率を表している。 図-4に示されるように、 C_o/C_{mean} は水路傾斜角度 θ 、 相対下流水深 h_d/h₂によらず X/L_iによって整理される。

まとめ

水路傾斜角度 θ=30°および 55°の傾斜水路における 射流から常流へ遷移する流れを対象とし $0 \leq C_{mean}/C_M <$ $0.6 \ge 0.8 < C_{mean}/C_M \le 1.0$ で下流水位の変化に伴う流れの フローパターンが異なることを明らかにした。また、 C_{mean}/C_M および h_d/h_2 による L_i/h_2 の変化を示し、0≦ $C_{mean}/C_M < 0.6 \ge 0.8 < C_{mean}/C_M \le 1.0 \ \ c L_i/h_2$ の変化が異な ることを明らかにした。さらに、 $C_{mean}=C_M$ の場合、跳水 部の各測定断面における平均された気泡混入率 C。と Cmean との比Co/Cmean は水路傾斜角度 θおよび相対下流水 深h_d/h₂に関わらずX/L_iによって変化することを示した。



 C_{mean}/C_M による遷移長の変化 図-3



- W. H., Hager.: "Energy Dissipators and Hydraulic Jump", Water Science and Technology Library, vol.8,KLUWER, 1992.
- 2) Ohtsu, I., Yasuda, Y., and Awazu, S.: Free and Submerged Hydraulic Jump in Rectangular Channels, Report 35, Research Institute of Science and Technology, Nihon University, pp.1-50, 1990. Ohtsu, I. and Yasuda, Y.: "Hydraulic Jump in Sloping
- 3) Channels", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE,
- 117(7), pp.905-921, 1991. 安田, 高橋, 小林, 大津: "傾斜水路の跳水特性に 対する空気混入射流の影響",水工学論文集, 土 4)
- ハイリる主気(鹿八和)1000 から、ハエリロースネ,エ 木学会,第46巻,pp.601-605,2002. 小林,安田,大津:"傾斜水路の跳水特性に対する 気泡混入射流の影響",土木学会第59回年次学術 5)
- 講演会, pp.259-260,2004. Ohtsu, I., Yasuda, Y., and Takahashi, M.: "Flow Characteristics of Skimming Flows in Stepped 6) Channels", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol.30, No.9, pp.860-869, 2004.