

階段状水路における Skimming flow の空気混入流れの特性に対するレイノルズ数の影響

日本大学理工学部 正会員 ○高橋 正行
 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

1. はじめに

傾斜水路を流下する高速流を減勢させる方法として階段状水路の利用は有効である¹⁾。階段状水路において形成される流況は skimming flow(写真-1 参照)、nappe flow および transition flow である²⁾。階段状水路の水工設計上、各流況における階段状水路によるエネルギー損失を明らかにすることが重要である。

著者は skimming flow の流水抵抗³⁾および各流況の階段状水路によるエネルギー損失⁴⁾を系統的に明らかにしてきた。

一方、階段状水路における空気混入流れ(写真-1 参照)の特性に対する、レイノルズ数 Re ($Re=q_w/\nu$; q_w は単位幅流量、 ν は動粘性係数)およびウェバー数 We の影響について十分には解明されていない。

Boes and Hager はレイノルズ数 Re の大きさの変化による空気混入率分布形状の変化について実験的検討を行い、レイノルズ数 $Re \leq 100000$ では空気混入流れの特性に対してレイノルズ数の影響があるものとしている⁵⁾。しかしながら、資料の解析方法に検討の余地が有り、空気混入流れの特性に対するレイノルズ数 Re の影響は十分に明らかにされていない。

ここでは、skimming flow を対象に、レイノルズ数 Re が空気混入流れの特性に及ぼす影響について実験的検討を行った。すなわち、 $\theta = 55^\circ$ の階段状水路を対象にレイノルズ数 Re が空気混入率分布、断面平均した空気混入率、aerated flow depth(空気混入率が 90%となる高さ)、抵抗係数におよぼす影響を明らかにした。

2. 実験方法

実験は水路傾斜角度 $\theta = 55^\circ$ 、相対ステップ高さ $S/dc=1$ (S はステップ高さ、 d_c は限界水深($= (q_w^2/g)^{1/3}$; g は重力加速度)の下でレイノルズ数 Re を変化させて行った。また、空気混入率は点電極型ボイド率計を用いて測定した(採取間隔 5ms、採取時間 60s)。

3. 既往の研究

Boes and Hager は skimming flow を対象に空気混入率分布に対するレイノルズ数 Re の影響について検討(図-1⁵⁾)し、 $Re \leq 100000$ の場合レイノルズ数 Re の影響が無視できないとしている。ここに、 Y はステップ高さ S を原型のステップ高さ 60cm を基準として、模型でのエッジを結んで得られる仮想底面からの垂直距離 y を原型の大きさに拡大したときの距離、 C は空気混入率[(空気量)/(空気量+水の量)]である。Boes and Hager は図-1 に基づき、与えられた θ 、 S/dc に対して Re が大きくなると、aerated flow depth($C=90\%$ となる Y の高さ)と底面近くの空気混入率 C の値が大きくなると述べている。一方、 Y は y/S と同じ意味と解釈($Y=600\text{mm}$ のとき $y/S=1$ に等しい)することができる。aerated flow 内における空気混入率の分布形状について検討する場合、 Y あるいは y/S を用いた資料の整理よりも aerated flow depth y_{90} ($C=90\%$ となる y の高さ)を用いた無次元量 y/y_{90} で整理したほうが aerated flow 内の空気混入率分布形状をより適確に表示できるものと考えられる。

4. 空気混入流れの特性に対するレイノルズ数 Re の影響

平衡状態(流下方向に繰り返し同じ流れが形成される状態)を対象に、与えられた θ 、 S/dc に対して Re を変化させた場合の水路中央断面における空気混入率 C の実験値を $C=F(y/y_{90}, Re, \theta, S/dc)$ の関係に基づき整理し



写真-1 階段状水路の Skimming flow

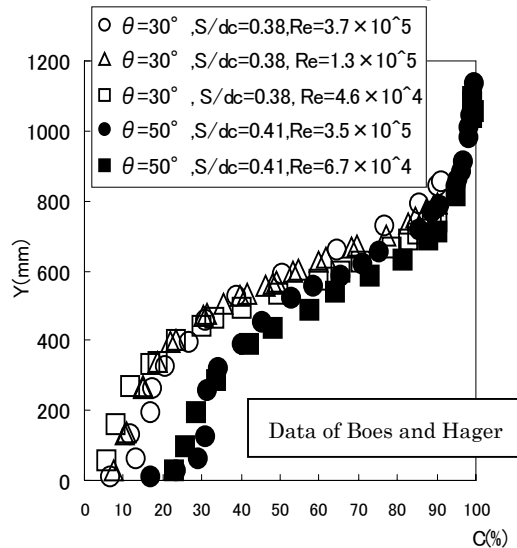


図-1 空気混入率分布

キーワード：階段状水路、レイノルズ数、縮尺効果、空気混入流

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

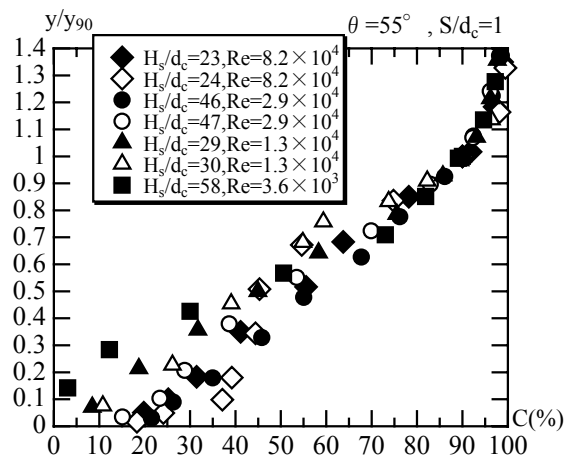
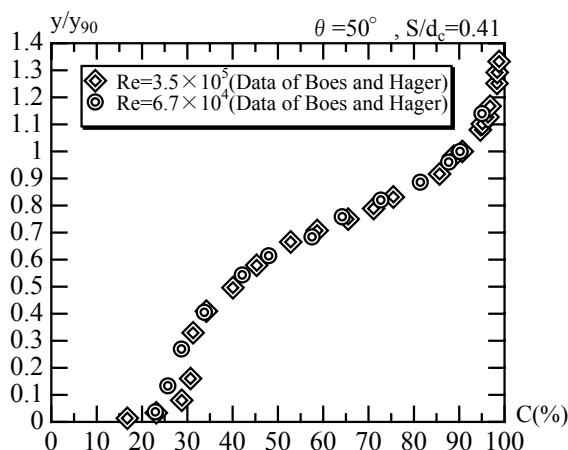


図-2 空気混入率分布に対するレイノルズ数の影響

たものを図-2 に示す。図-2 に示されるように、 $3600 \leq Re < 29000$ の範囲では、レイノルズ数 Re が大きくなると $y/y_{90} < 0.5$ での C の分布形状に対する Re による変化が大きく、 $Re \geq 29000$ になると C の分布形状に対する Re による変化は小さい。

与えられた θ 、 S/d_c に対して、断面平均した空気混入率 C_{ave} 、断面平均した aerated flow depth ($C=90\%$ となる y) $y_{90,ave}$ および抵抗係数 f に対する Re の影響を図-3～5 に示す。ここに、 f は次式から算出している。

$$f = 8(d_{w,ave}/d_c)^3 \sin \theta \quad (1); \quad d_{w,ave} = (1 - C_{ave})y_{90,ave} \quad (2)$$

図-3,4 に示されるように、 $3600 \leq Re < 29000$ の範囲では、 $y_{90,ave}/d_c$ および C_{ave} の値は Re の値に伴い変化する。 $Re \geq 29000$ になると $y_{90,ave}/d_c$ および C_{ave} に対する Re の影響は小さくほぼ一定となっている。

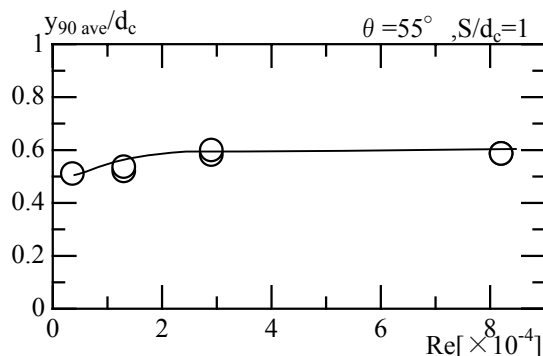
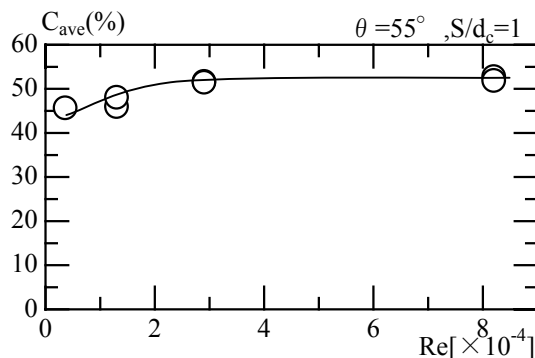
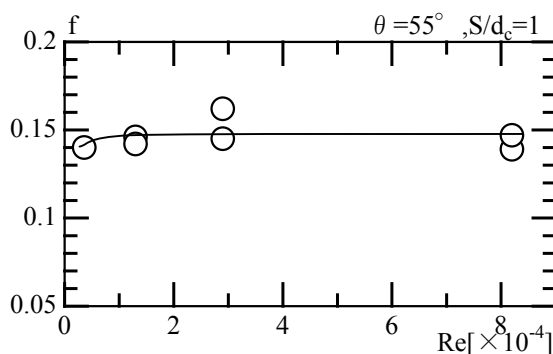
抵抗係数 f については、図-5 に示されるように、 $Re < 13000$ になると f に対する Re の影響がわずかにみられるが $13000 \leq Re \leq 82000$ の範囲では f の値に対する Re の影響は非常に小さい。すなわち、 f に対するレイノルズ数 Re の影響は小さくほとんど一定になることを明らかにした。

謝辞

本研究を実施するにあたり、日本大学学術研究助成金(奨励研究)から研究助成を受けた。ここに記して謝意を申し上げる。

参考文献

- 1) H., Chanson, (2001): The Hydraulics of stepped chutes and spillways, *Balkema*, Lisse.
- 2) I., Ohtsu and Y., Yasuda, (1997): "Characteristics of Flow Conditions on Stepped Channels.", Proc. 27th IAHR Biennial Congress, San Francisco, USA, Theme D, pp.583-588.
- 3) I., Ohtsu, Y., Yasuda and M., Takahashi, (2004): "Flow Characteristics of Skimming Flows in Stepped Channels.", *J. Hydr. Engrg.*, ASCE, (to be published).
- 4) 高橋、安田、大津、(2004): 階段状水路における射流のエネルギー損失、水工学論文集、土木学会、第48巻、pp.871-876.
- 5) R., Boes and W., H. Hager, (2003): "Two-Phase Flow Characteristics of Stepped Spillways", *J. Hydr. Engrg.*, ASCE, Vol.129, No.9, pp.661-670.

図-3 $y_{90,ave}$ に対するレイノルズ数 Re の影響図-4 C_{ave} に対するレイノルズ数 Re の影響図-5 f に対するレイノルズ数 Re の影響