

急勾配階段流れの水深評価について

西日本工業大学 正員 石川 誠

西日本工業大学 正員 赤司 信義

山口大学工学部 正員 斎藤 隆

1. はじめに

急勾配階段式水路は、ダム余水吐、上水道導水施設、雨水排水路等で流れの減勢効果を高める目的で設置されることがある。しかし、現在のところ、階段式水路の設計指針はほとんど示されていない。これは、階段流れが、非常に大きな水面変動と共に多量の空気混入を伴う流れであるため、計測上の問題もあって、空気混入を伴った水深や流速評価に関する基礎的資料が得られていないことにも関係している。

本研究は、勾配0.21の水路に種々の階段を設置し、場所的に流況の変化がみられない段落ち部での流速分布、ボイド分布、飛沫高を測定し、段落ち部での水深の評価を実験的に検討しようとするものである。

2. 実験装置と方法

実験水路は、幅15cm、長さ8m、高さ45cmの鋼枠製アクリル水路で、装置の概略を図1に示している。階段は、アクリルガラスで作製し段落差 $D=5.3, 10.5, 21\text{cm}$ の3種とし、その時の設置状況及び水面形の概略を図2に示している。流速はピトー管及び電磁流速形を用いて、又ボイド率はボイドセンサーによって測定した。水深はボイド率95%の時の高さとし、飛沫高は $2 \times 1\text{cm}$ の開口部をもつ管に飛び込む流量が0になる高さとした。

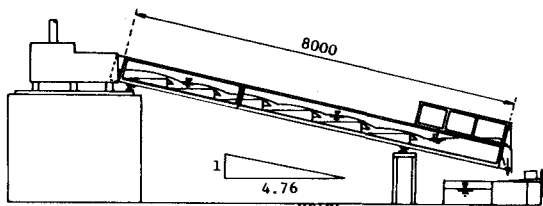


図1 実験装置の概略

3. 実験結果とその検討

図3は実験流量 q_e と速度分布及びボイド分布の計測値をもとに $q = \int_0^y (1-f) u dy$ によって計算した流量 q_c の比較である。最大1割程度の誤差があるものの、ほぼ1:1の関係にあることが分かる。図4-a, bは速度分布を無次元表示したもので、 D/h_c によって傾向が異なっていたことから、

$D/h_c = 0.48 \sim 0.62$ を×記号で、 $0.93 \sim 2.40$ を○印で、

$2.95 \sim 5.85$ を●記号で示したものである。又、図中の実線は実験値の平均的傾向を示し、点線は推定線を示したものである。 D/h_c が $0.93 \sim 2.40$ では最大流速点は $y/h = 0.1$ 付近に現れるが、それ以外の実験条件では $y/h = 0.3 \sim 0.4$ 付近に最大流速点が現れている。図中に記入した推定線との関係を示せば、 D/h_c が 0.48 より小さくなるとa図の点線④、③、②、①に近づき D/h_c が 5.85 より大きくなるとb図の点線⑤、⑥、⑦に近づくものと考えられる。これは、 D/h_c が0に近づくとき空気混入の度合いが小さくなり、直線水路の速度分布に近づくこと、又 D/h_c が大きくなると、階段水路のエプロン長さが長くなり、衝突点での空気泡がエプロン段落ち部に達する区間で、水面から離脱していくと考えたものである。従って

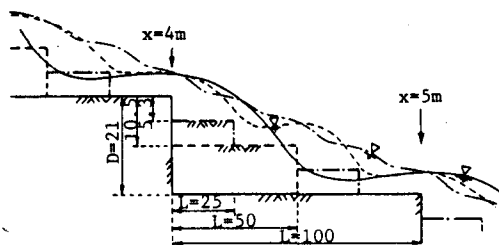


図2 階段設置方法と水面形の概略

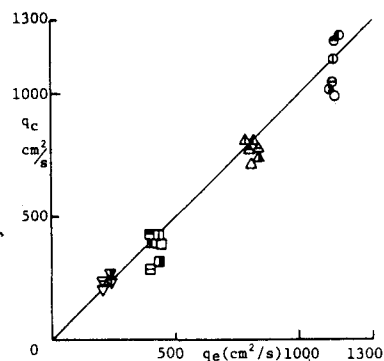


図3 測定流量の検討

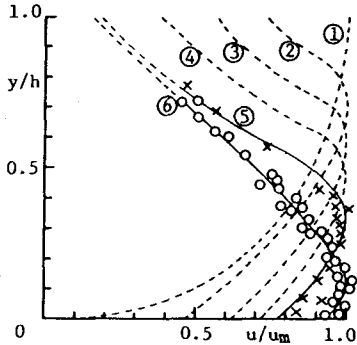


図4-a 速度分布

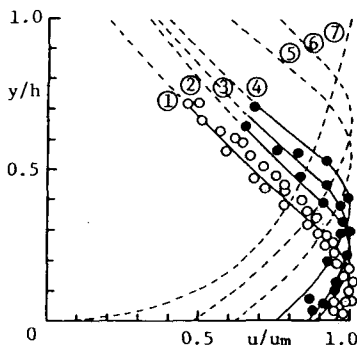


図4-b 速度分布

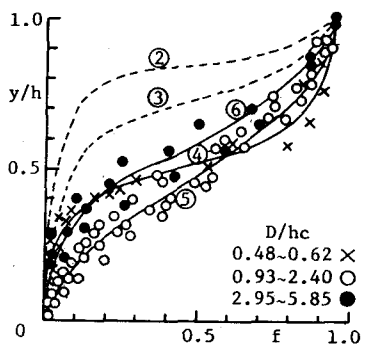


図5 ボイド分布

D/hc がかなり小さいか、かなり大きい時には段落ち部での空気泡は底面付近に侵入しないことになる。図5は図4と同様に D/hc の値に応じて分類されたボイド分布形を示したものである。図4でみたように、 D/hc が $0.48 \sim 0.93, 2.95 \sim 5.85$ の時、底面付近 ($y/h < 0.3$) ではボイド率が非常に小さいことが分かる。図6は平均流速 $\bar{u}$ とマンニング式 ($n=0.01$) で定められる平均流速 u_0 との比を示したもので、平均流速は気泡混入がないとした時の直線水路の平均流速 u_0 のほぼ $1/2$ になり、段落差 D にはほとんど関係しない結果となっている。又、図7は最大流速 u_m と平均流速 $\bar{u}$ の比を示したものであるが、この図から D が0に近付くと u_m は急増する傾向を示している。空気混入流に関するStraubとAndersonの研究によれば、直線急勾配水路の平均流速はマンニング式で算出した値のほぼ1.5倍近くになっている。図8は水深 h と飛沫高さ h_s を D/hc に対して示したもので、平均的には図中の実線で示すように、次式で示される。

$$h/D = 0.86 \cdot (D/hc)^{-0.92}, \quad h_s/D = 1.6 \cdot (D/hc)^{-0.92}$$

大略的には $h/D \propto (D/hc)^{-1}$ すなわち $h \propto hc$ の関係となっていて、段落ち部の水深は、本実験条件の範囲では D の影響はほとんど無く、単に流量によってのみ規定される結果となっている。又、飛沫高さは h のほぼ2倍となっている。

4. おわりに

階段水路の設置にあたって、 D/hc が $0.5 \sim 6$ 程度の範囲では平均流速に顕著な差異は認められないもののマンニング式による平均流速のほぼ $1/2$ に減勢されること。又、水深は段差にあまり関係せず流量に規定されること等が実験的に明らかにされた。今後、段差 D を0に近づけ、直線水路の時と比較して検討していきたい。終わりに本研究を進める上で、実験に協力頂いた西日本工業大学、小矢、岡野、柳川、河野君に謝意を表する。

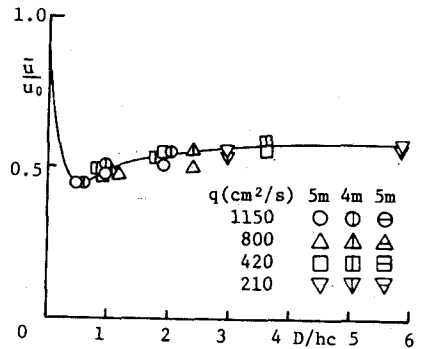


図6 段落ち部の平均流速

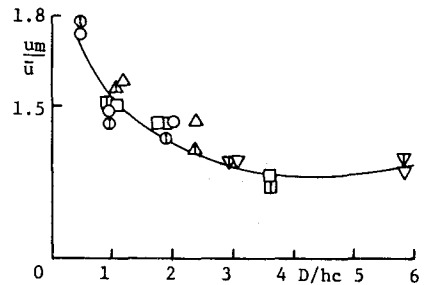


図7 段落ち部の最大流速

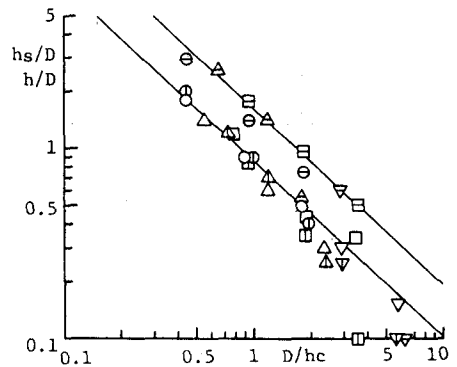


図8 段落ち部水深と飛沫高さ