

Skimming flow の流況特性に対するキャビティの空間形状の影響

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
日本大学理工学部 学会員 堀川 康司

落差を伴う構造物から越流する高速流を傾斜面上で減勢する方法の一つとして階段状水路が挙げられる。階段状水路における射流の流況は水路傾斜角度、流量、ステップ高さ、および総落差によって変化し、Skimming flow およびNappe flowによるエネルギー減勢または残留エネルギーについて多くの研究者によって検討されている¹⁾²⁾。また、最近行われた階段状洪水吐きに関するワークショップ国際会議の中で、階段のキャビティ空間に三角柱部材を設置し空間を閉塞させることによって、Skimming flow の残留エネルギーが減少することが報告されている³⁾。階段状水路を洪水吐きとして利用する場合、工学的にはキャビテーションリスクに対する安全性を考える必要がある。三角柱部材を挿入したときの各ステップに作用する圧力特性については不明な点が多く、キャビテーションリスクに対する検討がなされていない。本研究では、Skimming flow の流況特性に対するキャビティの空間形状の影響を明らかにするため、ステップ隅角部に三角柱部材を設置した場合と設置していない場合の各ステップ面に作用する圧力分布、Skimming flow のエネルギー損失について比較を行ない、三角柱部材を設置した場合のキャビテーションリスクの可能性を明らかにした。

実験

実験は表-1に示す条件の基で幅40cm、長さ10mの長方形断面水路に設置された傾斜角30度の階段状水路模型を用いて実施した。三角柱部材の寸法はステップ水平面の衝突位置(ステップ背面から0.7Lの位置)を基準に決定した。すなわち、ステップ背面から0.8L(衝突位置より下流側)までの長さを底面長とし、ステップ水平面から0.8Sまでの長さを高さとした三角柱部材と、ステップ背面から0.6L(衝突位置より上流側)までの長さを底面長とし、ステップ水平面から0.8Sまでの長さを高さとした三角柱部材の2種類を用いた(図-1)。ステップ面に作用する圧力の測定については内径1mmの圧力取り出し孔に接続したマノメータを用いた。

三角柱部材を設置した場合と設置しない場合との流況の比較

Skimming flowを対象に流況を比較すると、図-2に示されるように三角柱部材を設置していない場合の水面に比べて、三角柱部材を設置した場合は水面が大きく乱れ、飛沫の影響を受ける高さが高くなる。また、キャビティに形成される渦の形成について、三角柱部材を設置していない場合に比べて渦管が強く、渦の回転が速くなっている。なお、三角柱部材のType A,Bによる流況の違いは水面の観察では見られなかった。

三角柱部材を設置した場合と設置しない場合との

Skimming flow のエネルギー損失の比較

図-3に示されるように階段状水路直下流側で跳水を形成させ、三角柱部材が設置された場合と設置されていない場合のSkimming flowのエネルギー損失について式(1)を用いて間接的に算定し¹⁾、相対エネルギー損失の実験値を整理したものを図-4に示す。なお、階段状水路における射流水深は階段状水路直下流側で形成された跳水始端での全水頭が階段状水路流れの全水頭と等しいものとして評価した¹⁾。また、跳水始端の位置は階段状水路からの流れの衝突に伴う底面圧力の増加が最も大きくなった断面としている。

$$\frac{\Delta H}{H_{\max}} = 1 - \frac{(d_c/d_i)^2 + 2(d_i/d_c)\cos\theta}{3 + 2(H_{\text{dam}}/d_c)} \quad (1)$$

表-1 実験条件

傾斜角度 θ : 30 度, ステップ高さ S : 5 cm
階段状水路総落差 H_{dam} : 152.5cm
単位幅流量(m^2/s) : $0.0163 \leq q \leq 0.0659$
限界水深(m) : $0.0300 \leq d_c \leq 0.0847$
$18 \leq H_{\text{dam}}/d_c \leq 50.8, 0.590 \leq S/d_c \leq 1.66$

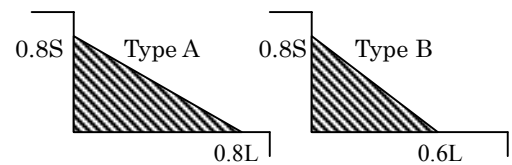
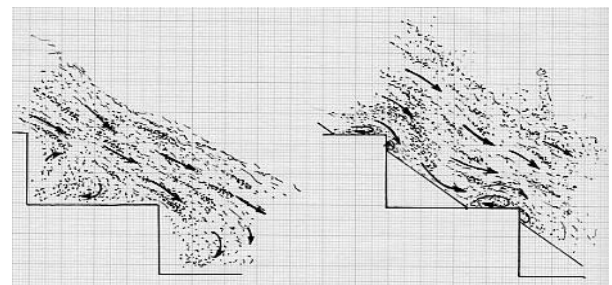


図-1 三角柱部材



1) 三角柱部材を設置していない場合 2) 三角柱部材を設置している場合

図-2 三角柱部材を設置した場合と設置していない場合のSkimming flowの流況

キーワード エネルギー減勢、減勢工、階段状水路、射流、skimming flow

連絡先 〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8 Tel.&Fax. 03-3259-0409

図-4 に示されるように、三角柱部材を設置した場合と設置しない場合との違いはほとんど見られず、三角柱部材設置による残留エネルギーの大き

な軽減につながらないことを確認することができた。

5. ステップに作用する圧力特性

三角形部材を設置した場合と設置していない場合のステップ水平面エッジ近くの底面に作用する圧力分布を調べると図-5 に示されるように、2つの底面圧力分布パターンが存在する。一つは、ステップを越えるエッジの近くで底面圧力が急激に減少する分布(S型分布とする)、ステップを通過する流線の曲がりが大きくなり底面圧力がエッジに向かって徐々に減少する分布(M型分布とする)が見られる。その一例を図-6 に示す。

各ステップの底面圧力を測定した結果、図-7 に示されるように、三角柱部材を設置した場合、S型分布となる箇所が多い。特に、Type A の場合、Type B に比べて、S型分布になる頻度が多い。これは、キャビティの空間が Type B に比べて狭くキャビティの渦管が強くなり、エッジを通過する流線の曲がりが大きくなりやすくなったためと考えられる。一方、三角柱部材を設置していない場合、M型分布となる箇所が多い。

各ステップの 0.9L での底面圧力水頭を平均した値 $(h_p/d_c)_{ave.}$ および各ステップの中で最も小さな値 $(h_p/d_c)_{mini.}$ を図-8 に示す。図中 A_c はエッジを結んだ仮想面より下のキャビティ内の側面積、 A は三角柱部材が設置されていない場合の仮想面より下のキャビティ内の側面積を示す。図に示されるように、 A_c/A が小さい方が $(h_p/d_c)_{ave.}$ および $(h_p/d_c)_{mini.}$ の値が小さくなる。最小値 $(h_p/d_c)_{mini.}$ については負の値を示し、 A/A_c が小さい方が最も負の値が大きくなる。すなわち、三角柱部材を設置することによってキャビテーションリスクが高まることが明らかとなった。特に、キャビティ内の空間を狭くすることによって渦管が強くなり、危険度を増すことが確認された。

参考文献

- 1) 高橋・安田・大津(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, 第45巻, pp. 415-420.
- 2) Yasuda, Y., Takahashi, M., and Ohtsu, I. (2001) XXIX IAHR Cong., Theme D pp.531-536.
- 3) Chanson(2001), The Hydraulics of Stepped Chutes and Spillways, Balkema
- 4) Ahmann, M.L. and Zapel E.T. (2000), Stepped Spillways, A Dissolved Gas Abatement Alternative, Hydr. of Stepped Spillways, Balkema, pp.45-52.

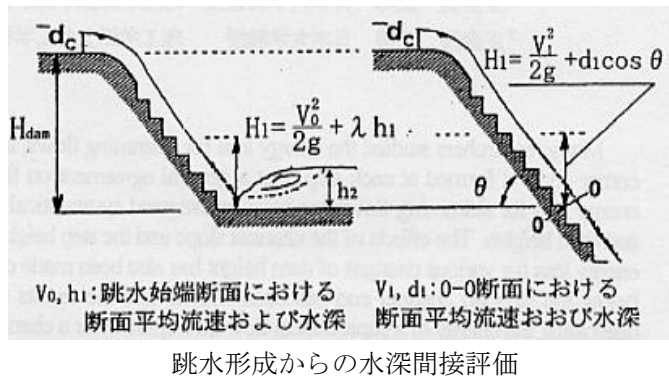


図-3 階段状水路直下流側での跳水の形成

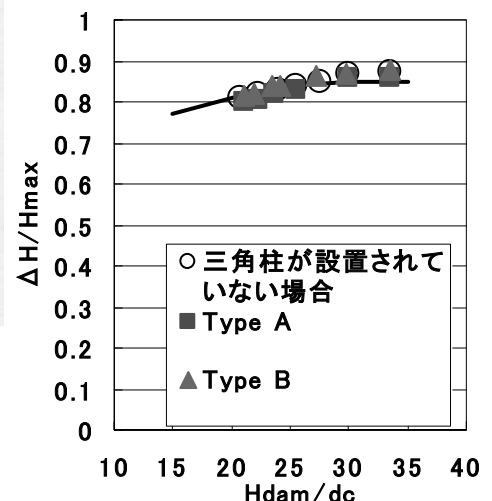


図-4 Skimming flow の相対エネルギー損失

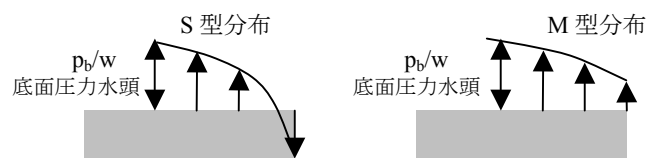


図-5 ステップ水平面エッジ近くの底面圧力分布のパターン

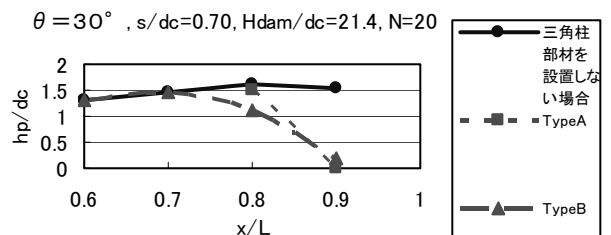


図-6 エッジ付近のステップ底面圧力分布

三角柱部材 Type A の場合



三角柱部材 Type B の場合



三角柱部材が設置されていない場合



図-7 各ステップでの S・M 型分布の頻度分布

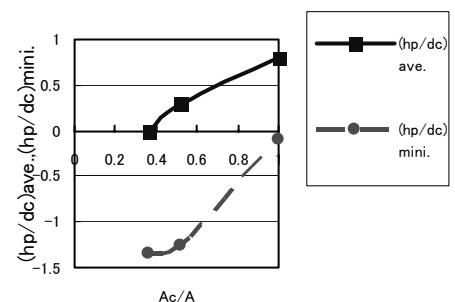


図-8 キャビティ空間形状による 0.9L での底面圧力水頭の変化