

段落ち部の物体に働く不完全越流時の抗力の評価

西日本工業大学 学生会員 河原 輝昌
 西日本工業大学 正会員 赤司 信義
 西日本工業大学 正会員 石川 誠

1. はじめに

自然石を利用した堰や床止めなどの落差工は、景観、環境面に配慮した整備として利用が期待されている。石組み落差工として斜面に粗石を埋め込んだ場合や梁状の石組み構造とした場合の水位流量関係など概略的な評価法は知られているが、越流部や水衝部に設置すべき石の形や大きさの選定基準、落差を作るための石組みの構造、河道への石組みの配置などには不明な点が多い。護岸ブロックの抗力等の研究結果は重要な指針を与えているが、自然石を用いた堰や床止めに関する研究はあまり見られない。本研究は、不完全越流の段落ち流れによるステップ上に設置した単体の物体に働く抗力の評価法を提示することを目的としたものである。

2. 実験装置と実験方法

実験装置は全長 12m、水路幅 40cm、勾配が 1/1000 の鋼枠製アクリル製水路で、堰下流端より 2.1m の位置に段落ち高さ $D=20\text{cm}$ の段落ち水路をもつ開水路である。水路下流端には、水位調節用ゲートが設置されている。写真-1 は、1 辺 5cm のアクリル製立方体の物体を力計に設置した状況を示している。抗力はステンレス材で作製した片持ち式 L 型力計で計測した。実験条件は、流量 $Q=0.03\sim0.01\text{ m}^3/\text{s}$ で、下流水深は段落ち高さ $D=20\text{cm}$ より大きくし、22~40cm の範囲で、 $Re=5\cdot 10^4\sim 7.6\cdot 10^4$ 、 $Fr=0.5\sim 1.0$ の範囲で設定された。

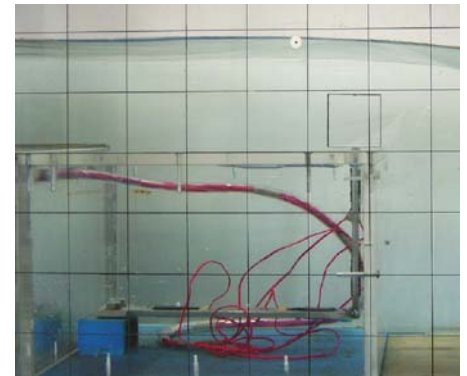


写真-1 力計の設置状況

3. 実験結果と抗力の近似的評価

図-1 は、 $Re=q/\nu=7.6\cdot 10^4$ の場合の下流水深による圧力分布の違いを比較したものである。 q =単位幅流量。図中の実線は上流面の圧力分布の測定値を結んだもので、破線は下流面の測定値を直線で示したものである。上流面の破線は静水圧分布として三角形分布を示している。上流面の圧力を見ると、どれも静水圧分布より大きくなっている。底面に示した矢印は上流部の動水圧の大きさを示していて、ほぼ一致していることが認められる。

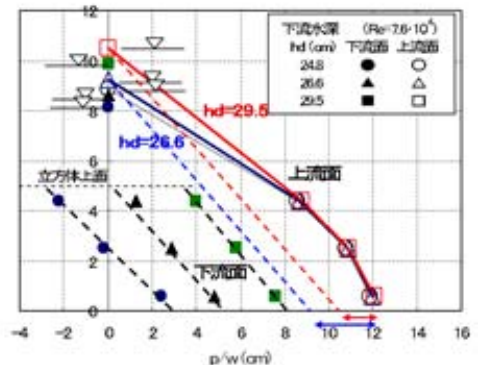


図-1 物体上流面と下流面の圧力分布

図-2 は、段落ち部下流壁面の横断方向の圧力分布を示したもので、水深 h で基準化したものである。 $y=0$ は段落ち部の河床面で、 $y=-20\text{cm}$ は段落ち下流の河床面である。図中の破線は静水圧分布として水面から直線を引いたものである。段落ち部下流壁面は、ほぼ同じ直線的な圧力分布を示すことが認められる。段落ち部で流れの曲がりによる圧力低下を生じるが、段落ち下流壁面の流れは、不完全越流の場合、流速が小さく淀み域になるため、ピエゾ水頭がほぼ一定になるものと考えられ、物体の段落ち下流壁面の圧力への影響は、流れの幅と物体の幅や水深と物体の高さの比などに関係するものと考えられる。

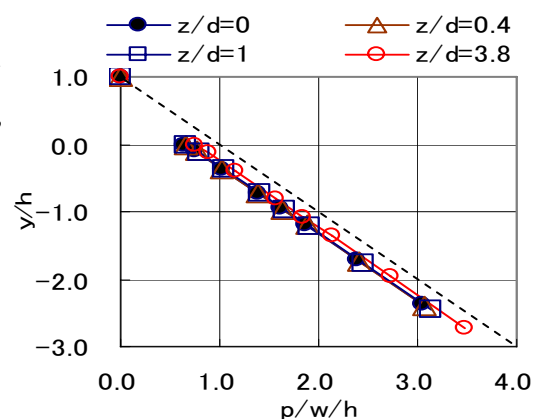
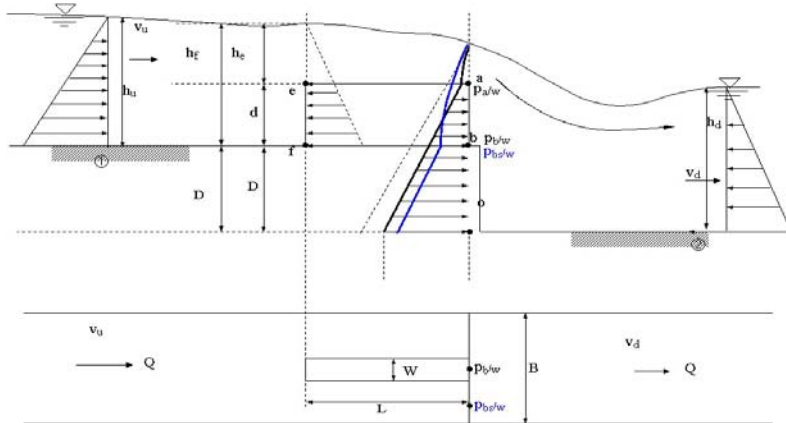


図-2 段落ち部下流壁面の圧力分布

4. 抗力係数の検討

図-3は、段落ち部の高さ d 、幅 W 、長さ L の物体を設置した時の流れの概略を示したものである。物体上流端では堰上げにより水面が盛り上がり、物体上を越流する。この流れの流量は、物体両側に回りこむ流れにより、物体のない側方断面より少ない。物体下流端の a 点は、流れの遠心力により圧力が低下し、静水圧より小さくなる。物体上流面の圧力を p_a 、物体のない段落ち部の圧力を p_{bs} とする。上流断面と下流断面に運動量定理を適用すると、(1)式となる。 F_{ef} は、物体上流面に作用する力、 F_b は物体下流面と物体直下の下流壁面に作用する力、 F_{bs} は物体のない段落ち下流壁面に作用する力である。



$$\rho B q v_d - \rho B q v_u = w_o h_u^2 \frac{B}{2} - w_o h_d^2 \frac{B}{2} - F_{ef} + F_b + F_{bs}$$

$$F_{ef} = w_o \left(h_u - \frac{d}{2} \right) d W + \frac{v_u^2}{2g} \cdot d W \quad (1)$$

$$F_b = \{2p_a + w_o(d+D)\}(d+D) \frac{W}{2}$$

$$F_{bs} = (2p_{bs} + w_o D) D \frac{(B-W)}{2}$$

図-3 流れのモデル化

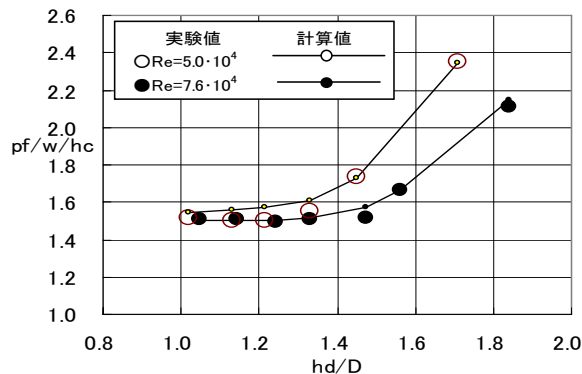


図-4 物体上流面底部の圧力

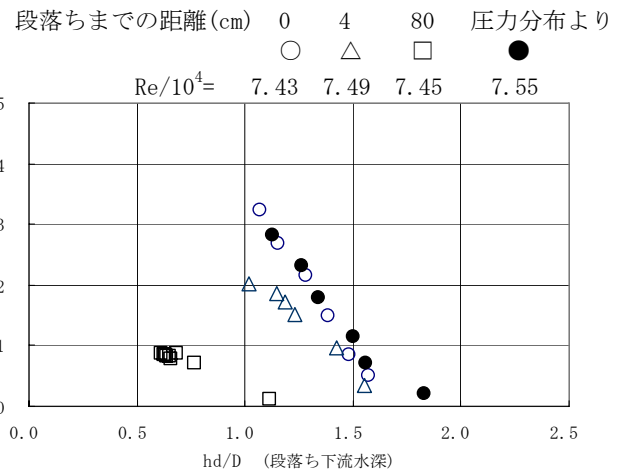


図-5 室内実験の抗力係数

図-4は、物体上流面底部の圧力を計算値と共に示している。計算値は、静水圧に上流流速を用いた動水圧を加えた値である。実験値は、図-1に得られる分布形を基にして、底面圧力を外挿して求めたものである。不完全越流の場合、ほぼ物体上流面圧力は動水圧を考慮することで評価できることが認められる。

図-5は、物体から段落ちまでの距離が変わると、抗力係数がどのように異なるのかを調べたものである。図中の抗力係数は、段落ち部の流れは限界流が生じることから、代表流速として限界流速を用いている。段落ちまでの距離が80cmの測定値は平均流速を用いて抗力係数を求めると、1.3程度となっている。図中の黒丸は、物体上流面と下流面の圧力分布から計算した抗力係数を示していて、実験値と計算値はよく一致している事が認められる。物体から段落ち部までの距離による抗力係数への影響については、今後さらに検討していく必要がある。

5. おわりに

段落ち部に設置した物体に働く流体力を計測し、物体周囲の圧力分布の測定結果を考察し、運動量式に基づいて、物体下流端圧力を求め、抗力係数の評価を行った。対象とした流れは不完全越流で限られた条件ではあるが、計算結果は実験結果とほぼ一致することが示された。