ステップ上の物体に働く流体力の評価に関する実験的検討

西日本工業大学　学生会員　津﨑 周平
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期待されている。しかし、外力の評価に基づく越流部や水衝部に設置すべき石の大きさや形の選定基準，落差を作るための石組みの構造，河道への石組みの配置，洪水時・低水時の流れの評価などには不明な点が多い．本研究では，石組み落差工を想定した段落ち流れによるステップ上の物体に働く流体力の評価を実験的に調べると共に、物体前面水深を基にして、抗力，揚力の評価を行ったものである．

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，堰下流端より 2.1m の位置に段落ち部のある開水路である．図-1 は，段落ち部分に三分力計を設置したものである．実験は，下流の堰を上げて水深を大きくして測定器が完全に沈んだ状態で行った．流体力の計測は，三分力計から動ひずみ計，AD 変換器，パソコンへ接続しデータを取り込み，物体に働く水平方向，鉛直方向，水路幅方向の力を測定した．

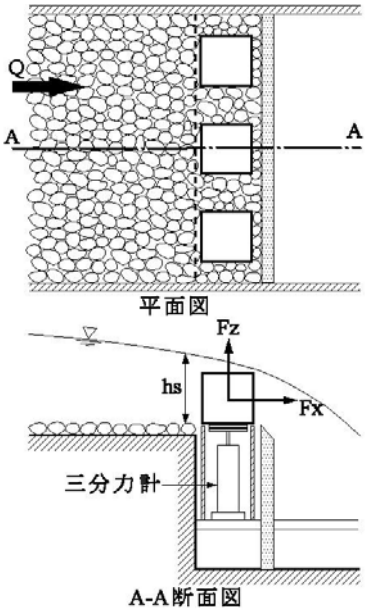

図-1 実験装置の概略

3. 流れの概略

図-2 は，段落ち部に球体を水路中央に設置した場合の抗力F_D，揚力F_Lと下流水深 hd の関係について段落ち流れの流況とともに示したものである．流れの流況は，Q=20.0 l/s の場合を示している．①の流れのような不完全越流状態で水面に波状が見られない場合，F_Dは小さく，下流水深を下げて完全越流状態に近づくにつれてF_Dは増大していく．F_D がもっとも大きくなるのは，段落ち部の流れが④のような完全越流になり，段落ち背後が通気されず密閉状態になるときに観察される．F_Dが最大になった後，ほぼ一定値になるのは，段落ち部の水深が下流水深を下げても変化しないことによる．揚力F_Lを生じるのは②のような流れで水面が波状状態になる場合で，下流水深を下げて完全越流状態になると段落ち背面に負圧が生じて，下流下向きに作用して，逆に下向きに引き込まれるようになる．流量が多くなると波状状態の水面の盛り上がりが強くなり，揚力が増大する．河床がステップ状になっていて洪水時に水面が波打つような流況が観察されるとき，河床の石は揚力により動きやすい状態になることを示している．**図-3** は，**図-2** の結果を次式で定義した抗力係数と揚力係数で描き直したものである．$C_D = \frac{2 \cdot F_D}{\rho A_D V^2}$　，　$C_L = \frac{2 \cdot F_L}{\rho A_L V^2}$

ρ は水の密度，A_D，A_Lは，水平方向，鉛直方向の投影面積，Vは物体前面の水深から求めた平均流速である．抗力係数や揚力係数は、代表流速によって異なり、流れの急変する地点で物体に作用する代表流速は定めにくいが、物体前面水深の影響が大きいことを考慮して代表流速として示したものである。

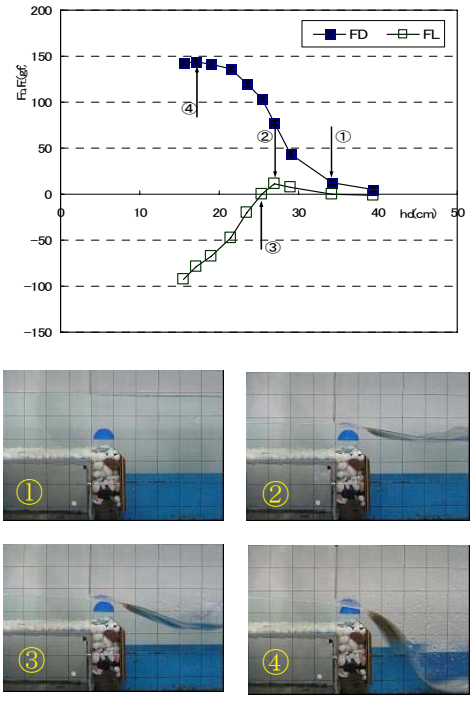

図-2 抗力・揚力と流況

4. 抗力と揚力の検討

図-4 は，立方体をステップに設置したときの水面形の概略を示したものである。図中のL_1の水面形は、物体の間を抜けて流れ落ちる水面形を示し、L_2は物体を乗り越えて流れ落ちる水面形を示している。図に示すように、物体を乗り越えるため、物体に堰上げられて盛り上がった水面形となる。物体間の流れは、物体設置間隔によって異なるが、物体幅と同程度の間隔があれば、水面に影響を認めにくい。図-5 は、物体間の流れと物体上の流れの水面形を記号と共に示したもので、これまでの実験から観察された圧力分布と対応づけて示している。

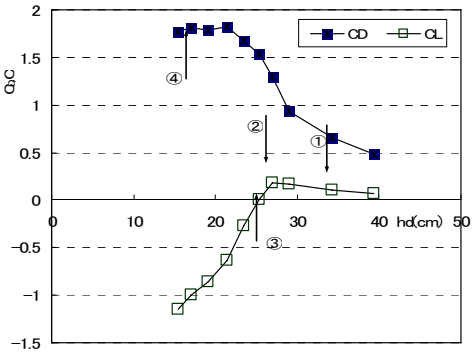

図-3 抗力係数と揚力係数

段落ち背後が密閉状態の完全越流の場合，流線の曲がりにより段落ち断面の圧力分布が静水圧分布から低下し，負圧を生じ、段落ち背面のﾋﾟｴｿﾞ水頭はほぼ一定になることをこれまでに観察している。支配断面と段落ち部より下流断面について底面摩擦を無視して，運動量の定理を適用すると次に示す段落ち底面圧力が得られる．段落ち流れをポテンシャル流とし、流線の曲がりを考慮すると、力の釣り合い式から圧力分布、速度分布が導かれる。また、連続の式と運動量式から、次に示す段落ち部水深が得られる。

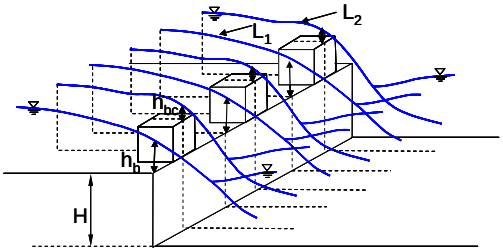

図-4 流れの概略

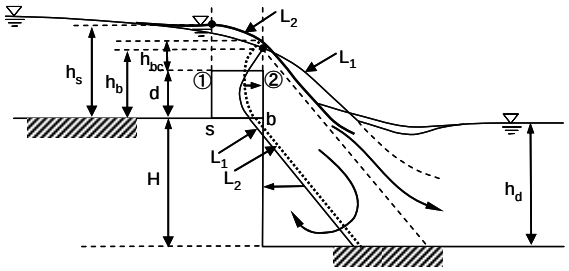

図-5 記号説明

$$\frac{p_b/w}{h_c}=\frac{2\cdot(h_c/H)^3+(h_d/H)^3-3\cdot(h_d/H)\cdot(h_c/H)^2-h_d/H}{2\cdot(h_d/H)\cdot(h_c/H)}$$

$$\frac{h_b}{h_c}=\frac{3}{2}+\frac{p_b/w/h_c-3/2}{(V_b/V_S)^2}$$

抗力と揚力の計算では、物体前面の圧力分布は計測された物体前面の水深を用いて静水圧分布とする。物体周囲の圧力分布を積分して、抗力と揚力を求めて、測定値と比較したものが、図-6、7 である。物体間の圧力分布は物体の影響がない流れを対象にして計算されるが、物体上を越える流れとした取り扱いでは圧力分布を求めにくいので物体背面の②～b 点のピエゾ水頭は一定で②の値と同じとした。物体間の流れと物体上を越える流れとした結果はほぼ実験値と一致していて、ほぼ抗力と揚力を評価できることが分かる。

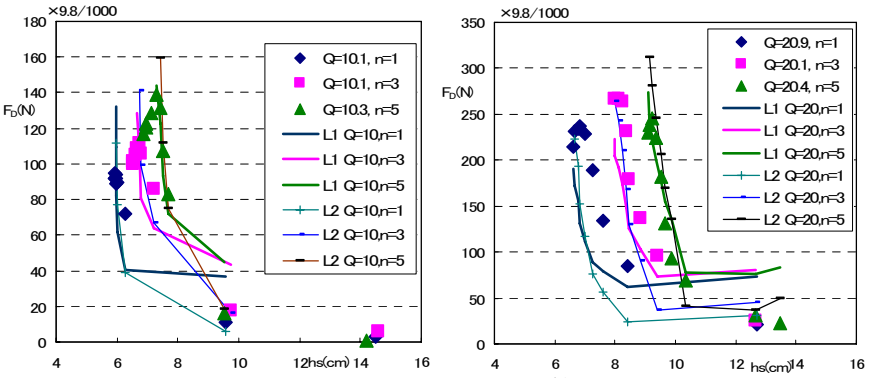

図-6 抗力の計測値と計算値の比較

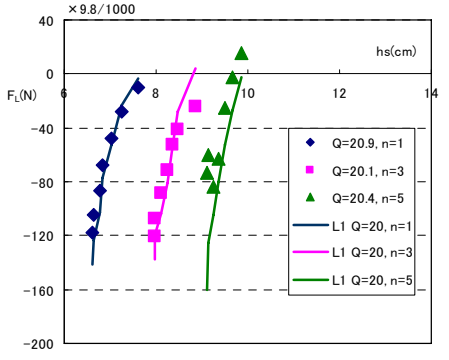

図-7 揚力の計測値と計算値の比較

5. おわりに　完全越流時の段落ち部の近似的取り扱いを行い、物体の前面水深を用いることで抗力と揚力をほぼ説明することができた。物体に作用する代表流速の取り扱いが明確でないため抗力係数，揚力係数として検討していないが，一般的な物体を対象にする場合に向けてさらに検討が必要である．終わりに本研究は西日本工業大学平成 17 年度特別研究費，(財)河川環境管理財団の平成 17 年度河川整備基金の助成を受けて進められたものであることを付記して，謝意を表する．