

段落ち部下流の礫河床に作用する流体力の変動特性と礫の移動限界

広島大学

学生会員

○田中久美子

広島大学大学院

正会員

内田龍彦

広島大学大学院

フェロー会員

河原能久

1. 背景および目的

堰や床止め工等の段落ち部を有する河川構造物の下流では、河床の局所洗掘を防ぐために護床工が設置される。構造物を越流した流れのエネルギーが護床工設置区間で十分に低減されなければ、護床工のさらに下流側でも局所洗掘が生じる。流れにより護床工が流失されると、構造物本体の被災を招く危険性が高くなる。このため、護床工設計の際には作用する流体力や護床工区間における流速の低減量及び礫に作用する流体力を明確にする必要がある。

本研究では洪水時の大きな流量に対して段落ち下流に発生する潜り噴流と波状跳水を対象とし、流体力の測定プレートを3種類用いる事で流体力の時間変動特性を明らかにするとともに礫の移動限界を考察することを目的とする。

2. 実験概要

実験水路は全長 6m, 幅 0.2m, 高さ 0.5m, 河床勾配 1/1000 の直線水路で、床止め工模型の大きさは、長さ 0.9m, 幅 0.2m, 高さ $hm=0.1m$ である。河床には平均粒径約 0.017m の礫を敷いている。流体力は三分力計により計測する。図-1 に実験水路の縦断面図を示す。流体力の測定プレートは長さ 5, 10, 20cm×幅 20cm の3種類である。流体力の縦断分布を把握するため床止め工からの距離を変化させて計測する。実験条件は $Q=10, 20, 30\ell/s$ に対し下流水深を変化させ潜り噴流と波状跳水の2つの流況で行う。case1 は潜り噴流, case2 は波状跳水である。表-1 に実験条件を示す。さらに、礫の移動限界を考察するため固定された礫河床の上にまばらに礫を配置し、実験流量を通水した場合の礫の移動の様子を観察し、流体力の計測値と比較する。ここで移動指標を 4: 間欠的に移動する, 3: 全体的に揺れる, 2: 一部が常に揺れる, 1: 一部がたまに揺れる, 0: 動かない, と定義する。

表-1 実験条件

	単位幅流量 $q(m^2/s)$	下流水深 $ht(m)$	流況
case1-10	0.05	0.1290	潜り噴流
case2-10	$(Q=10\ell/s)$	0.1490	波状跳水
case1-20		0.1660	潜り噴流
case2-20	$(Q=20\ell/s)$	0.1938	波状跳水
case1-30		0.2040	潜り噴流
case2-30	$(Q=30\ell/s)$	0.2400	波状跳水

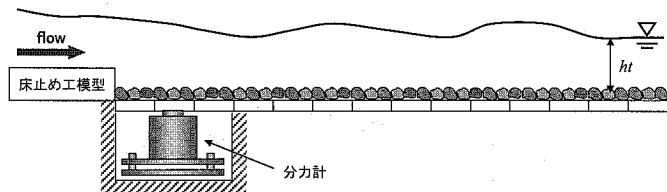


図-1 実験水路縦断面図

3. 実験結果および考察

図-2 に流体力の時間平均値及び礫の移動指標を、図-3 に流体力の時間変動を示す。縦軸の流体力は限界水深 h_c 、横軸の床止め工からの距離は床止め工の高さ hm で無次元化している。凡例は実験 case-流量-プレートの流下方向長さを示している。図-2 より潜り噴流において時間平均値の縦断分布は床止め工直下では負のせん断力が発生し、水叩き部直下流で流下方向に最大のせん断力が働く。20×20 の測定プレートを用いた場合には正と負のせん断力をまたぐ区間で平均化され明確なピークを得ることができないが、10×20 と 5×20 の測定プレートでは概ね等しい。波状跳水においては主流が水面付近を流れ、河床付近では逆流が起きるため、ほとんどの区間で負のせん断力が働く。図-3 より、測定プレートが小さくなるほど変動が大きくなる。また、礫の移動指標と流体力の計測値を比較すると平均値が小さくても変動が大きい箇所では礫の移動指標が大きい。

変動の要因を検討するために周波数解析を行った結果を図-4 に示す。縦軸はフーリエ解析の $\sin$, $\cos$ の振幅の 2 乗和の平方根を τ_x の時間平均値で除した値である。小さいプレートでは大きいプレ

ートに比べて全体的に振幅が大きく、その違いは特に周期の短い部分に顕著に現れる。これはプレート面積が大きくなることで主として周期の短い渦が打ち消し合い、空間平均されるためである。そのため測定プレートの面積が大きくなることで変動が小さくなったと考えられる。この傾向は他のケースにも同様にみられる。

礫を球とみなし、各時間において限界層流力以上の流体力から礫の仮想的な移動距離 s を求め、その s と礫の平均粒径 d の比 s/d と礫の移動指標との比較を図-5 に示す。移動指標が大きい箇所でも s/d も大きいことから、移動距離換算した流体力により移動指標は概ね説明可能であるといえる。また、礫が移動限界に至るまでの流体力の平均的な作用時間は約 0.4s であった。

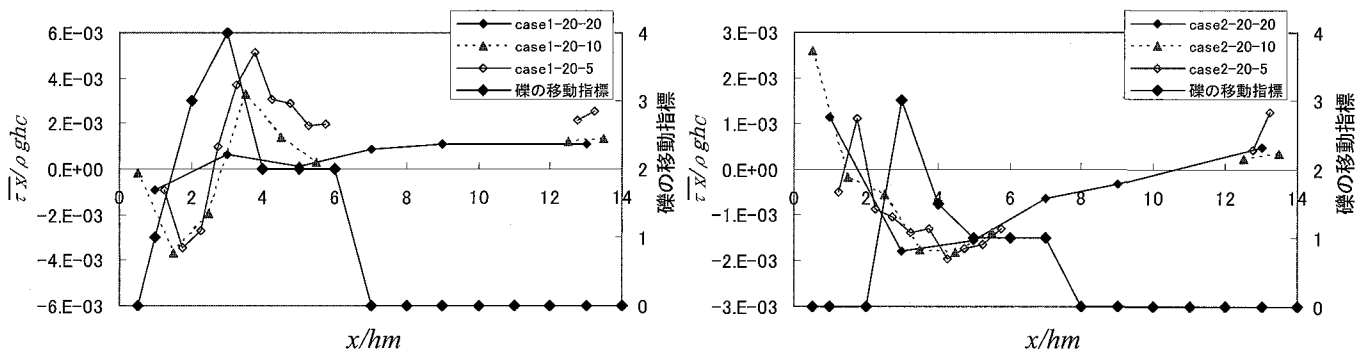


図-2 流体力の時間平均値の縦断分布と礫の移動指標(左:潜り噴流 右:波状跳水)

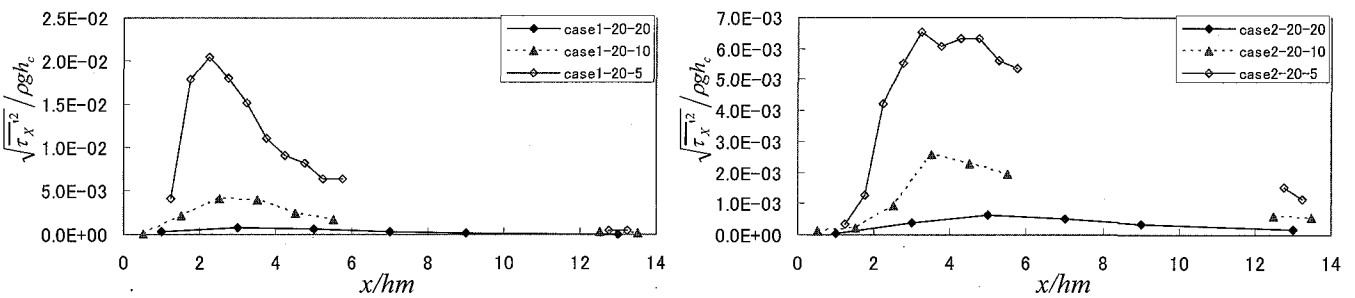


図-3 流体力の時間変動の縦断分布(左:潜り噴流 右:波状跳水)

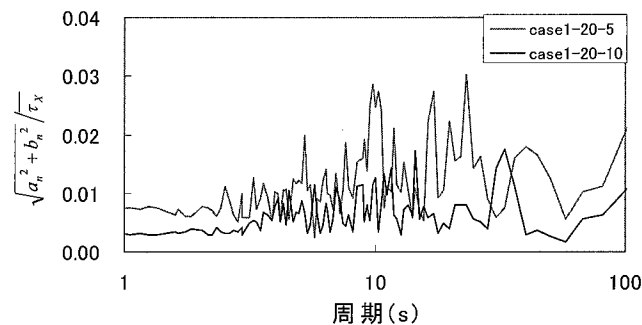


図-4 周波数解析の結果

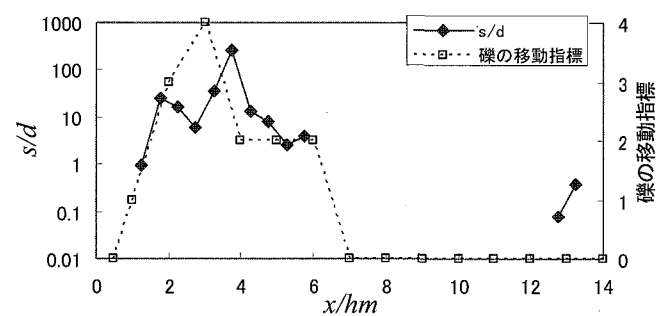


図-5 仮想の移動距離と礫の移動指標

4. 結論

様々な水理条件における段落ち部下流に作用する流体力の変動特性を、面積の異なる3種類のプレートを用いることで明らかにした。測定プレートが大きくなると主として周期の短い小さな渦は空間平均されることで打ち消し合い減衰するため、流体力平均値が同じ大きさでも変動が小さくなることを実験により明らかにした。礫の移動限界は流体力の平均値よりも変動が影響を与え、移動限界を検討する際には平均値に加え変動を考慮することが必要不可欠となる。また、各時間の流体力から求めた仮想的な移動距離によって礫の移動限界は概ね説明できる。