

段落ち部下流の礫河床に作用する流体力とその変動

広島大学

学生会員 ○池田麻矢

広島大学大学院

正会員 内田龍彦

広島大学大学院

正会員

渡邊明英

1. 背景と目的

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体力の低減量を明確にする必要がある。本研究では、特に洪水時に発生しやすい潜り噴流状態と波状跳水状態に着目し、段落ち部下流の礫に作用する流体力とその変動を直接計測し、その特性を明らかにすることを目的としている。

2. 実験概要

実験には図-1に示す、長さ6m、幅20cmの水路を用いる。段落ち高さは高さ10cmである。段落ち部下流河床には粒径約1.5cmの礫が敷かれている。等流での対数分布則より、礫の相当粗度は $k_s=2.2$ である。電磁流速計を用いて、潜り噴流と波状跳水について流速分布が計測されている。流体力は、分力計用ピットにセットされた三分力計を用いて測定され、その縦断分布を把握するために、測定距離は流れ方向に10cmとする。流速、流体力とも時間平均と時間変動が測定されている。実験条件は、流量10ℓ/s、30ℓ/sに対してそれぞれ下流水深(堰の下流4m地点の水深)を変化させた2×6ケースである。case1, 2は完全跳水となり、case3~6は不完全跳水となり、case3, 4は潜り噴流、case5, 6は波状跳水の状態である。

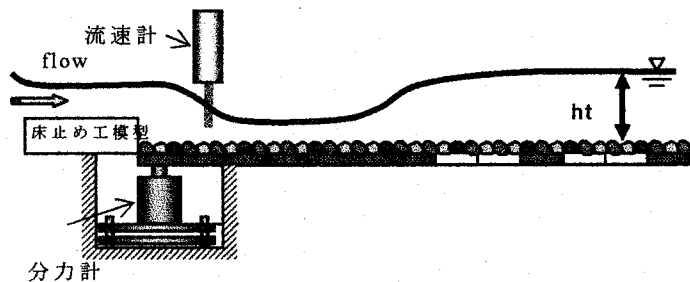


図-1 実験水路側断面図

表-2 実験条件

	流量 Q(l/s)	下流水深 ht(m)	流況
case1-10	10.0	0.091	完全跳水
case2-10		0.104	
case3-10		0.129	
case4-10		0.142	潜り噴流
case5-10		0.149	
case6-10		0.156	
case1-30	30.0	0.171	完全跳水
case2-30		0.190	
case3-30		0.204	潜り噴流
case4-30		0.220	
case5-30		0.241	波状跳水
case6-30		0.249	

3. 実験結果と考察

様々な水理条件での流速、流体力特性とその変動の縦断分布の特性を検討する。図-2、図-3、図-4に完全跳水、潜り噴流、波状跳水のそれぞれの流れ場による河床に作用するせん断力の時間平均 F_x と時間変動 F_x' の縦断分布を示す。図-2、図-3より、完全跳水と潜り噴流では水叩き部で F_x は最も大きくなる。 F_x' は水叩き部の直上流で逆流が発生する所で最も大きくなる。図-4より、波状跳水では河床付近に逆流が生じており、負のせん断力が最大になる所で F_x' も大きくなる。これらより、逆流域では順流域に比べ乱れが大きいことが分かる。図-5に時間平均流体力 F_x と時間変動流体力 F_x' の比較の縦断分布、図-6に F_x と F_z' の比較の縦断分布を示す。図-5より F_x と F_x' を比較すると、各点で水理条件により F_x' が2~3倍大きくなる。したがって、時間的な最大規模の河床に作用するせん断力は計測される時間平均せん断力の2~4倍になると考えられる。下流の等流に近づくあたりでも2倍近くなるため、河床に作用するせん断力を検討する際は変動を考慮する必要がある。図-6より F_x と F_z' を比較すると、各点で水理条件により5~6倍近く F_z' が大きくなる。等流近くでも1~5倍大きくなるため、

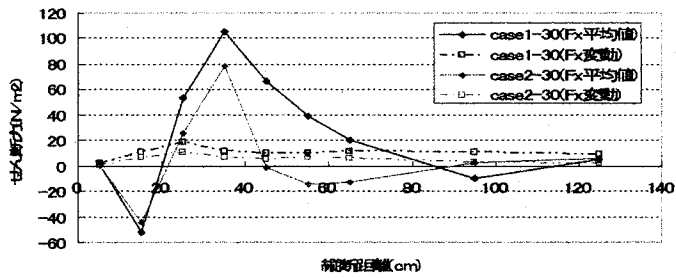


図-2 流体力とその変動の縦断分布(完全跳水)

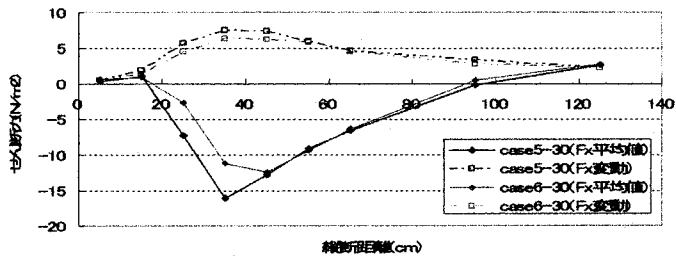


図-4 流体力とその変動の縦断分布(波状跳水)

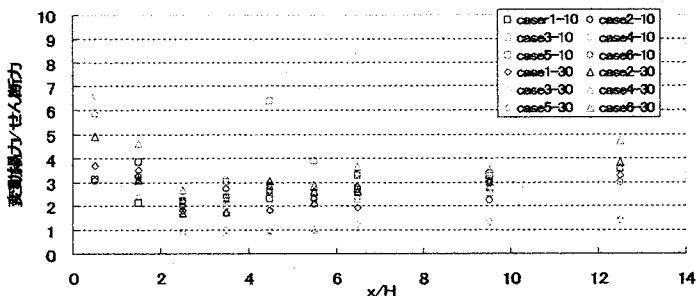


図-6 揚力の変動とせん断力の平均値の比較(case3-30)

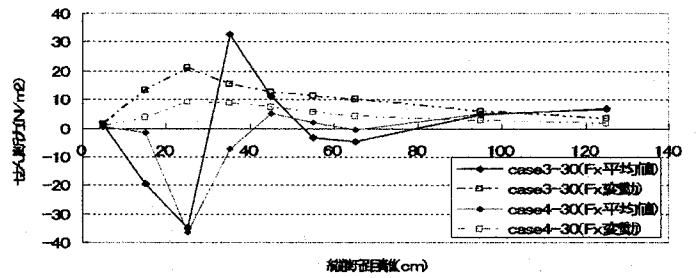


図-3 流体力とその変動の縦断分布(潜り噴流)

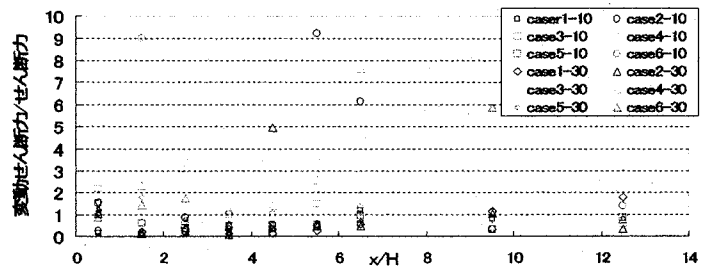


図-5 せん断力の時間変動と時間平均の比較(case3-30)

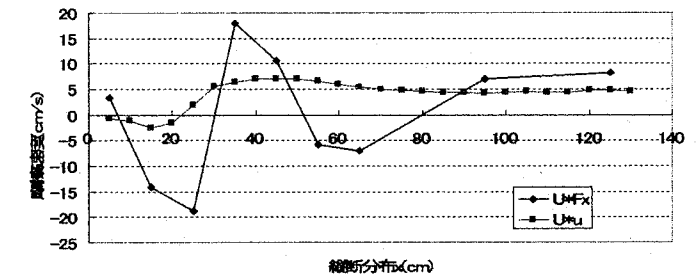


図-7 測定値と対数則の摩擦速度の比較(case3-30)

礫の移動限界に大きく影響すると考えられる。そのため、礫に作用する流体力の検討はせん断力だけでなく揚力の変動も考慮すべきである。

図-7に case3-30における流体力の計測値から求める摩擦速度 U_{*Fx} と対数則を用いて求める摩擦速度 U_{*u} の比較を示す。図-5より、 U_{*Fx} と U_{*u} を比較すると定性的には同じであるが、定量的に U_{*Fx} が U_{*u} より大きくなり、逆流域や水叩き部では3~4倍近く大きくなる。 $x=50\sim80\text{cm}$ の水叩き部下流では、負のせん断力が計測される。この原因は、主流が拡散する際に河床の極近傍で若干逆流が生じているためと考えられる。対数則では、このような逆流の流れの評価は困難である。 case5-30においても case3-30と同様に U_{*u} は U_{*Fx} よりかなり小さくなる。礫の相当粗度を用いて対数則より求める摩擦速度に比べ、実測値より求められる摩擦速度はかなり大きくなる。段落ち部下流のように水叩き部や逆流域がある流れ場では、対数則から求める摩擦速度は過小評価となる。

4. 結論

様々な水理条件で発生する段落ち部下流での流れにおける河床に作用する流体力とその変動の縦断分布特性を把握した。せん断力の時間変動は、逆流域や水叩き部で大きな変動を示す。水理条件や場所により、時間的な最大規模の河床に作用するせん断力は計測される時間平均せん断力の2~4倍になる。また揚力の時間変動はせん断力の5~6倍近くなるため、礫の移動限界を検討するためには、平均せん断力だけでなくせん断力と揚力の変動も考慮すべきである。段落ち部下流では、対数則では河床に作用する流体力は過小評価となることを示した。今後、段落ち部下流の逆流や水叩き部における定量的なせん断力の評価法が必要である。