

95 掃流状集合流動に関する実験的考察(2)

建設省土木研究所

石川芳治

建設省土木研究所

前田昭浩

(財) 砂防・地すべり技術センター ○高濱淳一郎

1. はじめに

最近、山地河道を対象とした氾濫シミュレーションや河床変動計算において掃流状集合流動を取り扱う機会が増え、掃流状集合流動の抵抗則や流砂量式に関する研究の必要性が高まっている。掃流状集合流動は図-1に示すように水流の層と砂礫移動層からなっている。砂礫移動層内部のエネルギー散逸構造が土石流のそれと本質的に変わらないものとして砂礫層における流速分布、流砂量を評価した結果¹⁾によれば、全流動深が与えられた場合の砂礫移動層と水流層とのinterfaceの位置、流砂量を理論式によって比較的よく再現できている。しかしながら、interface近傍の構成則の検討が十分とは言えず、緩勾配での抵抗が過大となる傾向がある¹⁾。interfaceの近傍の流れの構造は固液混相流の構成則の検討の本質にかかわる問題であり、実用面を考えた場合においても基礎データの蓄積が不可欠である。

以上の観点から、集合流動に関する基礎実験を行ってきており、外力に対して降伏応力の割合が相対的に大きくなると、間隙水圧が静水圧より大きくなる結果が得られた²⁾。ここでは、今回得られたデータに関する詳細を報告する。

2. 実験条件

今回得られたデータの実験条件は、勾配 $i=1/10$ 、単位幅流量(水のみ) $q_w=831.3\text{cm}^2/\text{s}$ 、単位幅流砂量 $q_s=114.6\text{cm}^2/\text{s}$ 、輸送土砂濃度 $c_m=0.1212$ で軽量骨材を用いている。平成4年度に行った実験条件は勾配で $1/40\sim 1/20$ 、輸送土砂濃度 $c_m=0.0122\sim 0.0582$ で同じく軽量骨材を用いた実験であり、この場合、土砂混入による間隙水圧の変化は明瞭には現れなかった³⁾。

3. 流速分布

図-2に流速分布を示す。図にはinterfaceの位置も示してあり、サルテーション層の上限は水面の9割まで達している。図をみると流速分布は、ほぼ直線的な分布となっている。平成4年度の実験条件ではこの

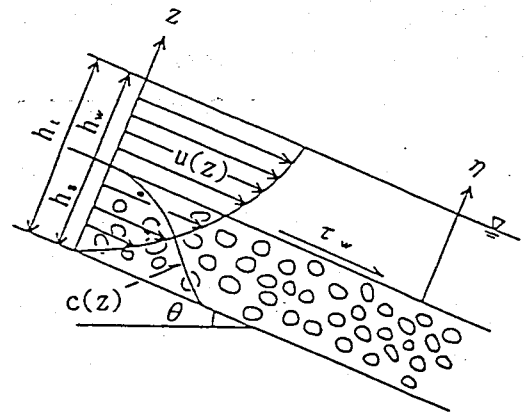


図-1 掃流状集合流動の模式図

Run-3	
$i = 1/10$	$h_t = 4.39\text{cm}$
$q_m = 945.9\text{cm}^2/\text{s}$	$h_{s1} = 1.5\text{cm}$
$q_s = 114.6\text{cm}^2/\text{s}$	$h_{s2} = 4.0\text{cm}$
$c = 0.1212$	$U^* = 20.742\text{cm/s}$

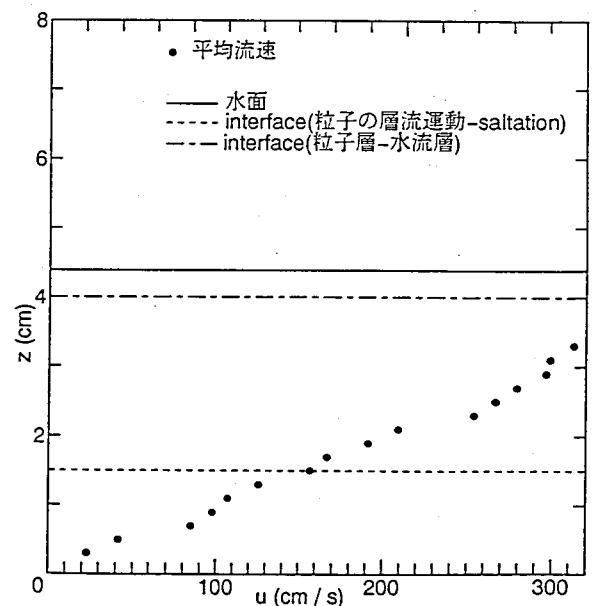


図-2 流速分布

ような分布は見られなかった。今回得られた流速分布を詳しく見ると、河床近傍で上に凸で、層流運動層の上で速度勾配が大きくなっている。

4. 圧力分布

図-3に今回得られた動圧、静圧の平均値、及び乱れ強度の深さ方向分布を示す。比較のため、平成4年度に得られた今回の実験より緩勾配 ($i=1/30$) での分布図を図-4に示す。図-3をみると、動圧の平均値の分布は上に凸であり、清水の場合や平成4年度のデータ (図-4) では下に凸の分布であった。一方、動圧の乱れ強度は今回の実験では河床からinterfaceに向かって増加しており、interfaceより上では一番水面に近いデータを除けば目立った増加は見られない。清水の場合や図-4の場合だと動圧の乱れ強度は河床から水面へ向かって一旦上昇した後、再び減少するような中膨らみの分布形をとる。また、そのピークは土砂混入時の場合はinterface近傍であった。

今回得られた静圧の平均値の分布は河床から2cmあたりまでは清水圧より大きくなっており、勾配が大きくなったことによる影響が現れている。一方、静圧の乱れ強度は動圧の乱れ強度に比べて1オーダーほど小さく、この点は平成4年度のデータと同じであった。

図-5には静圧の分布を詳しく見るため、図-4をスケールアップし、さらに静圧に位置水頭を加えて示してある。図中には静水圧として計算した線も示してある。静圧の静水圧からの過剰分は河床から層流運動層上限に向かって増加し、その後再び静圧は静水圧近傍の値をとっている。このとき、乱れ強度は河床から層流運動層上限に向かって、僅かではあるが上昇し、この上限を越えたあたりで一旦極大値をとり、過剰圧の減少に伴い、急速に減少する。

5. 圧力のスペクトル特性

図-6, 7に今回得られた動圧、静圧のパワースペクトルを示す。図-6は河床から0.3cmのデータであり、図-7は1.7cmのデータである。図-8には勾配 $i=1/30$ の実験での河床から高さ0.9cmにおけるのパワースペクトルを示す。図より動圧、静圧とも周波数で 10^{-1} から 10^1 オーダーにかけてパワースペクトルが減少していき、 10^1 から 10^2 オーダーにかけては横這い (ノイズ) となっている。乱れ強度は $10^{-1} \sim 10^1$ オーダーの周波数のパワースペクトルに支配されている。図-6をみると、動圧のパワースペクトルは静圧のそれより若干大きい程度であるが、河床から離れるにつれて図-7に示すよ

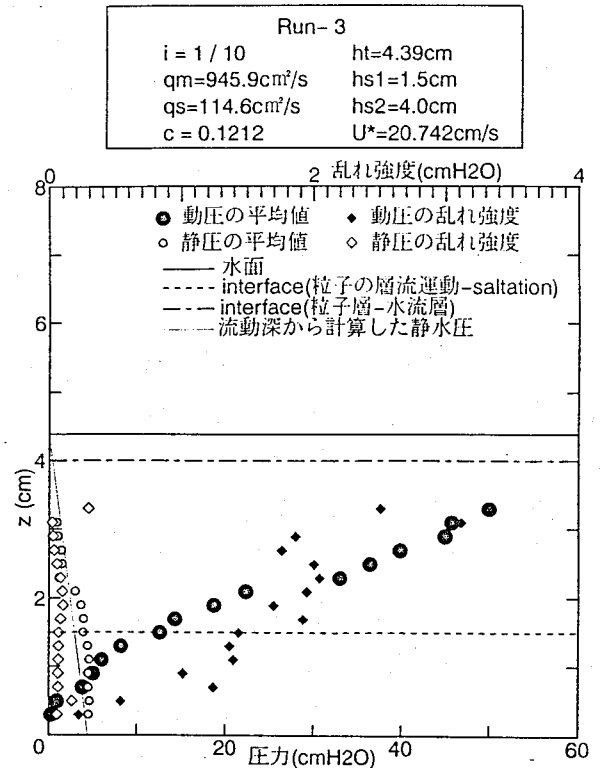


図-3 勾配 $i=1/10$ の圧力分布

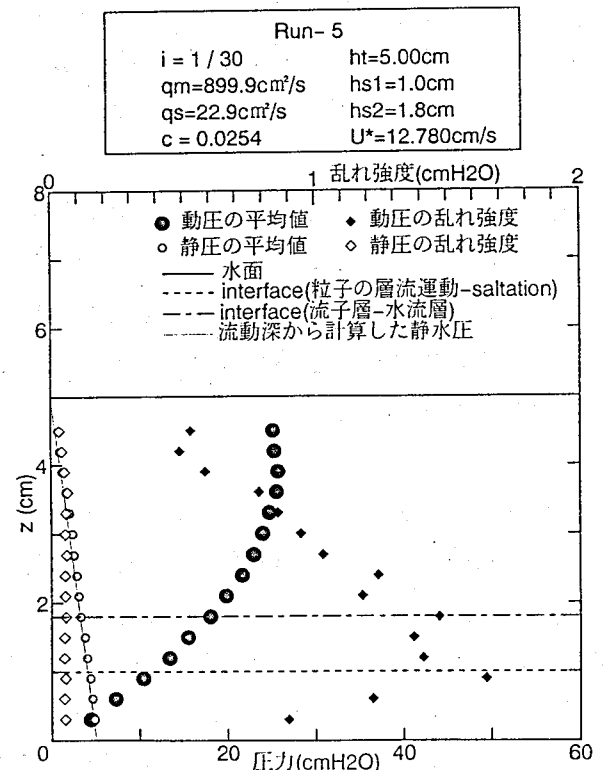


図-4 勾配 $i=1/30$ の圧力分布

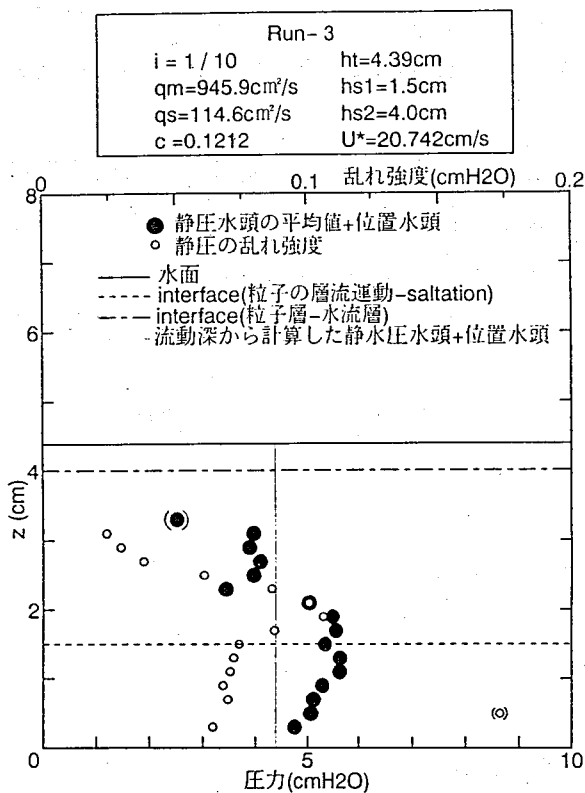


図-5 勾配 $i=1/10$ の静圧分布

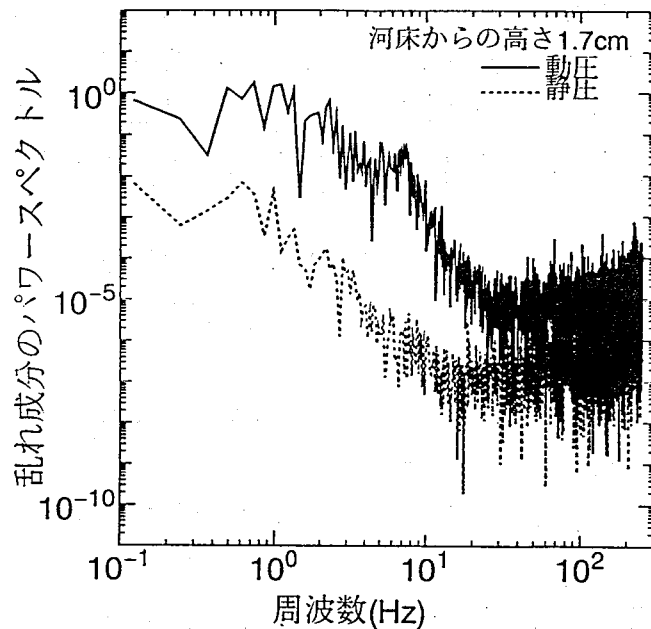


図-7 勾配 $i=1/10$ の圧力のパワースペクトル(2)

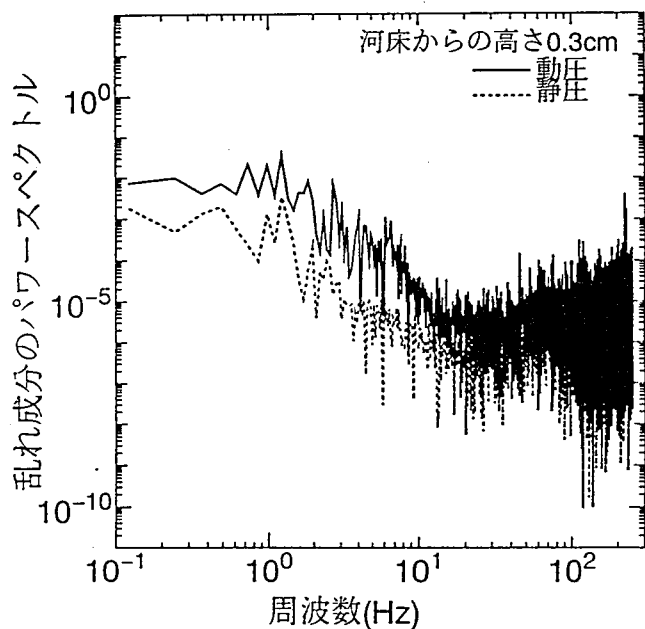


図-6 勾配 $i=1/10$ の圧力のパワースペクトル(1)

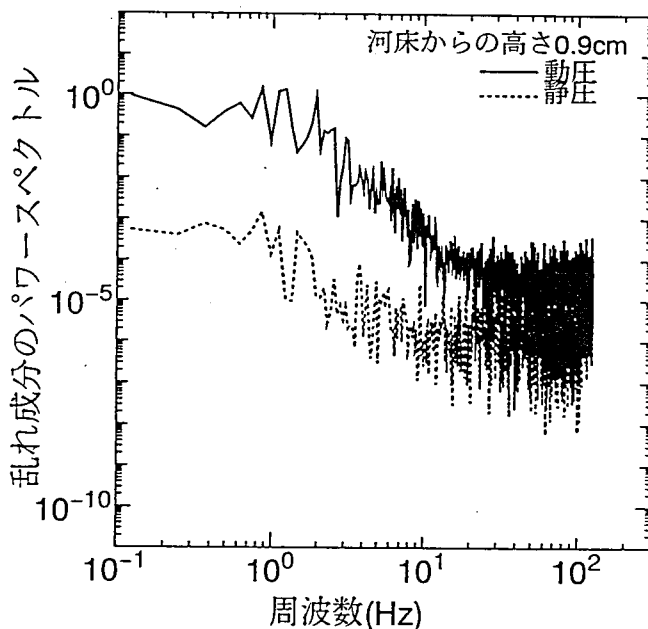


図-8 勾配 $i=1/30$ の圧力のパワースペクトル

うに動圧が大きくなってゆく。清水のみ、あるいは勾配 $i=1/30$ の場合、概ね図-8のような分布形をとっていた。

6. 考察

今回、砂礫移動層で静圧に静水圧からの過剰圧がみられた。過剰圧があらわれた層は粒子の層流運動層であり、層流運動層とサルテーション層とのinterface近傍で静圧の過剰圧が減少し、サルテーション層で静圧は静水圧近傍の値をとった。また、今回の実験ではサルテーション層が全流動深の6割近くを占めているが、相対的に比重の大きい砂礫を用いた実験ではこのようなサルテーションの発達は見られない。この

ことから、過剰圧により砂礫より比重の小さい軽量骨材からなる粒子の層状配列が破かれることで圧力開放され、流線を切るような開いた乱れによりサルテーション層が形成されているのではないかと推察される。

ここで、砂礫のように比重が相対的に大きい材料の場合を想定すると、過剰圧による層状配列の破れが起こりにくくなるため、ある程度の層厚を持つような流れでは砂礫移動層中にはこのような過剰圧があらわれることが予想される。一方で、過剰圧によってもその水中比重のため層状配列が大きく破れることなく、乱れがある程度大きくなると乱れが間隙を行き来するようになり、過剰圧が抑えられることも考えられる。

今後、実験データの解析を進めていくことで、今回の現象に対する理解を深め、集合流動の構成則検討の基礎資料としていくつもりである。

参考文献

- 1) 高濱淳一郎、宮本邦明：“急勾配水路における高濃度流れの抵抗則と流砂量”、平成4年度砂防学会研究発表会概要集、pp. 66-69、1992
- 2) 石川芳治、前田昭浩、高濱淳一郎：“掃流状集合流動の運動機構に関する実験的研究(1)”、平成7年度砂防学会研究発表会概要集、1995
- 3) 石川芳治、石塚忠範、前田明宏、高濱淳一郎：“軽量骨材を用いた掃流状集合流動の水路実験