

粗礫の移動限界に及ぼす細砂含有の影響

立命館大学理工学部 学生員○足立嘉朗
 大阪ガス株式会社 吉岡和哉
 舞鶴工業高等専門学校 正会員 三輪 浩

1. まえがき ダム下流河川では、ダムによる土砂移動の不連続が河床低下やアーマールコート化を引き起こし、河道の固定化につながるなどの例も見受けられる。これらの対策の一つとして、ダムの貯水池に堆積した土砂をダム下流河道に仮置きし、放流とともに侵食・流下させる土砂還元法が試みられている。アーマールコート化した河床を置き土砂によって変質させる問題は、基本的には二峰性を有する河床材料に対する粗礫の移動限界の問題に帰着される。そこで本研究では、二峰性河床材料の移動限界モデルを作成することを目指し、粗礫層での細砂の含有率と粗礫の移動限界について検討している。

2. 実験の概要 実験は長さ18m、幅0.5m、深さ0.5mの可変勾配直線水路を用いて行った。この水路の中心線上に長さ0.92m、幅0.3m、深さ0.08mの移動床部となる箱を設置し、その両側および上下流側に以下に示すような粗礫をニスで貼り付けた固定床部を設けた。実験に用いた砂礫は、平均粒径 $d_m=0.71\text{cm}$ の粗礫A、 $d_m=1.43\text{cm}$ の粗礫Bおよび $d_m=0.14\text{cm}$ の細砂である。移動床部には粗礫のみ、または粗礫に細砂を含有させた混合砂礫を充填した(図-1)。本研究では、粗礫からなる骨格構造の間隙に細砂が存在している状況を想定している。したがって、細砂の存在率は粗礫層の間隙体積に占める細砂の体積 p_s で評価できる。しかし、この状態を実験で再現するのは困難である。そこで、移動床部に充填する粗礫量は一定とし、そこに加える細砂量によって細砂の含有率 f_s を評価することとした。すなわち、 f_s は次式で定義される。 $f_s = V_s / (V_g + V_s)$ ここに、 V_g は粗礫の体積、 V_s は細砂の体積である。

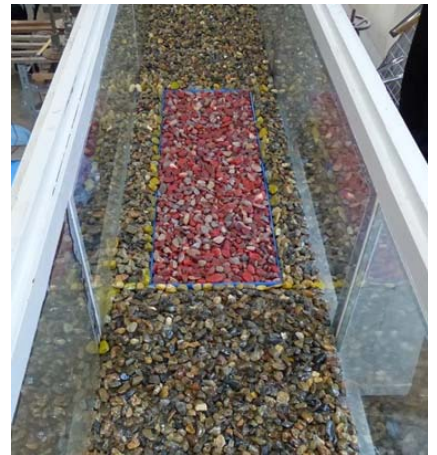


図-1 河床(中央部分が移動床)

図-2は容量500mlのビーカーを用いて粗礫と細砂の充填実験を行い、 p_s と f_s の関係を示したものである。同図より、 p_s と f_s は一定の比例関係にあり、 f_s によって p_s を推定することができる。Carling & Reader¹⁾は、 f_s が0.2を超えると粗礫の骨格構造は緩くなり始め、0.4を超えると細砂層内に粗礫が存在する混合状態になることを示している。したがって、アーマールコート層への細砂の供給は f_s が0.2以下の状態が対象となる。なお、 $f_s=0.2$ に対する p_s の値は約0.35であり、粗礫の間隙のおよそ1/3が細砂で充填されていることを示している。本研究では、 $f_s=0.1$ 、0.2および約0.3の混合砂礫を対象として粗礫の限界掃流力の測定を行った。図-3は粗礫Bを骨格構造に持つ混合砂礫の粒度分布である。典型的な二峰性となっていることがわかる。

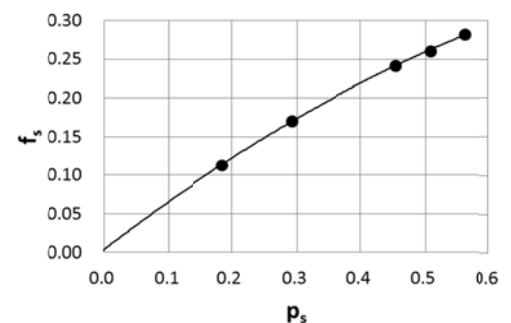


図-2 p_s と f_s の関係

実験は、まず所定の勾配に水路を設定し、レーザー変位計で河床面を横断方向2cm間隔で縦断方向に測定した。ついで、移動床部分を金網で被い、所定の流量を通水して等流状態を確認した後、網を取り除き、最初の30秒間とそれに続く150秒間に移動床部から固定床部に移動した粗礫の個数を計数した。通水中には超音波変位計で水路中心線上の水面を測定し、二度の粗礫移動個数の計数後に再度河床面を測定した。なお、30秒間の計数後に一旦停水するが、河床の再整形は行っていない。表-1に実験条件を示す。表中、 Q は流量、 I は河床勾配を表す。

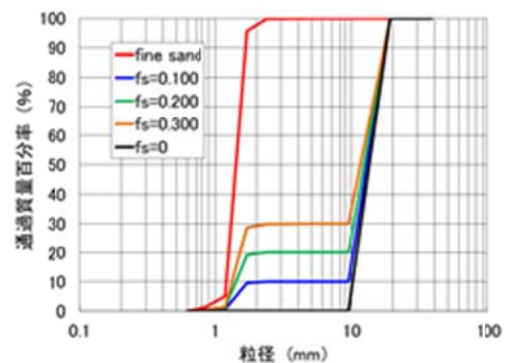


図-3 使用砂礫の粒度分布(粗礫B)

3. 実験結果と考察 図-4は粗礫Bを用いた実験における水深と粗礫の移動個数の関係を、細砂の含有率 f_s ごとに方対数紙上に描点したものである。同一の水深であっても f_s が増加すると粗礫の移動個数は増加することがわかる。これは、細砂の存在が粗礫の移動限界に影響することを示している。このメカニズムは必ずしも明確ではないが、粗礫に作用する水流が細砂を含んだものとなり、粗礫への作用外力が相対的に増加したためと推察される。また、河床から離脱後は細砂による減摩効果²⁾が作用すると考えられる。図中の直線は最小二乗法による近似線である。30秒間および150秒間の測定時間のいずれに対しても両者の関係はほぼ直線で近似することができ、しかも、 f_s ごとの直線の傾きは同程度であることがわかる。これは、本実験の範囲では、水深の増加に対して粗礫の移動個数が指数関数的に増加すること、また、その増加速度は細砂の含有率によらずほぼ一定であることを示している。粗礫の限界掃流力の算定は、まず、粗礫のみに対する移動限界水深を岩垣の方法によって算出し、その水深に該当する粗礫の移動個数を近似式から求める。図-4に示した粗礫Bに対しては、30秒測定、

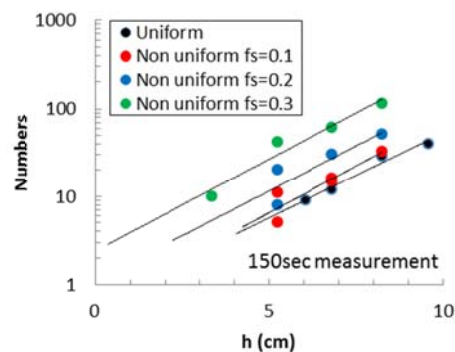
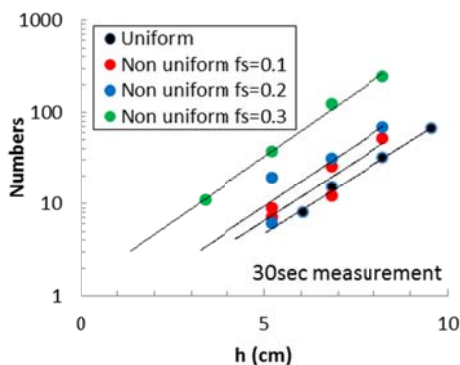


図-4 水深と粗礫の移動個数の関係 (粗礫 B)

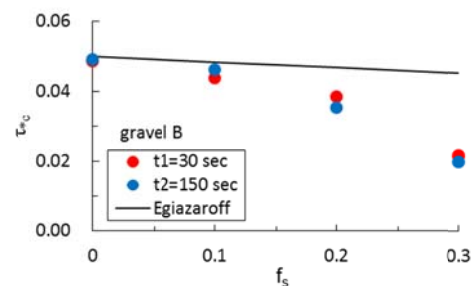
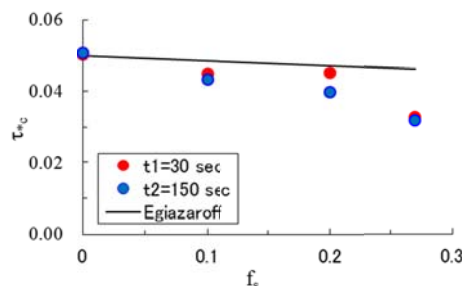


図-5 粗礫の無次元限界掃流力と細砂含有率の関係

150秒測定に対してそれぞれ6個と7個となった。この移動個数を移動限界の閾値として、細砂を含む場合の移動限界水深をそれぞれの近似式から求め、限界摩擦速度と無次元限界掃流力を算出した。

図-5は粗礫の無次元限界掃流力 τ_{*c} と細砂含有率 f_s の関係を示したものである。両粗礫とも f_s の増加につれて τ_{*c} は漸減することがわかる。また、測定時間や粗礫径による相違はほとんどなく、同様の傾向を示しているといえる。上述したように、粗礫の骨格構造が維持される f_s の上限値が0.2程度であるとすると、図-4の結果から粗礫の限界掃流力は約20%低下することわかる。なお、 f_s が0.3程度まで増加すると、限界掃流力は約60%低下することが期待される。また、図中にはEgiazaroff式によって算定した粗礫の限界掃流力が実線で示されているが、実験値との差は f_s の増加とともに大きくなることがわかる。細砂の含有によって粗礫が移動しやすくなり、アーマールコートの変質が進行して粗礫の骨格構造が緩くなると、さらなる細砂の含有が可能となる。このような状態はEgiazaroff式では追跡が困難であると思われる。

4. あとがき 粗礫層に細砂が混入すると、粗礫の限界掃流力が顕著に低下することを実験的に確認した。また、本実験の範囲ではこの傾向は粗礫径には必ずしも依存しない結果となった。今後は、粗礫と細砂の攪拌を想定した f_s 値のより大きい条件での実験を行うとともに、合理的なモデルの導入による定式化を行う予定である。最後に、本研究に関して米国イリノイ大学Gary Parker教授から有益な助言を賜った。また、本研究は日本学術振興会科学研究費基盤研究(C)の補助を受けて行われた。記して謝意を表します。

参考文献 1) Carling, P.A. and Reader N.A.: Structure, composition and bulk properties of upland stream gravels, Earth Surface Processes and Landforms, Volume 7, Issue 4, pp.349-365, 1982. 2) 池田 宏, 伊勢屋ふじこ: 粗砂の運ばれやすさに及ぼす細砂の影響, 筑波大学水理実験センター報告, No.9, pp.43-47, 1985.