

京都大学防災研究所 正員 芦田和男
 京都大学防災研究所 正員 高橋 保
 京都大学 大学院 学 〇水山高久

1. 緒言 著者は最近急勾配流れに着目し限界掃流力と抵抗について研究を進めてきた。これまでの研究で一様砂の限界掃流力が砂粒レイノルズ数の大きい範囲で相対粗度(d/h)の関数となり、相対粗度の増加とともに勾配効果の修正を加えた Shields パラメーター ($S_{sc} \equiv \frac{U_{sc}}{(\rho/\mu)gd(\tan\theta\cos\theta - \frac{\rho}{\sigma_p}\sin\theta)}$) が増加することを見出し急勾配流れの抵抗則よりこの傾向を説明した。今回は急勾配水路における混合砂礫の移動限界について若干の実験的考察を行ったのでこれを報告する。

2. 実験

2.1 混合砂礫床 長さ15mの可変勾配水路内に長さ3m幅20cmの水路をはめこみ上下流の1mを固定床真中の1mを移動床とした。使用した粒子は粒径が1, 2, 5, 7, 12.6, 16.4, 24.5 mm のガラスビーズと、18.3 mm の磁製球の8種類で形状はほぼ球形比重は2.5~2.6である。これを混合して混合砂を作製してできるだけ一様になるように考慮しながら厚さ4cmに敷き並べた。その粒度分布 $F(d)$ を図1に示す。

平均粒径(dm)は9.70mm, $\sqrt{\frac{d_{84}}{d_{16}}} = 2.84$ である。移動限界と抵抗を考える場合には全体の粒度分布より河床表面に突出している粒子の分布 $h(d)$ が重要である。土屋⁽³⁾は表面に突出する砂礫の個数分布について着察し深さ方向に一様分布を仮定して $h(d) = A \frac{f(d)}{d^{1.5}}$ を提案している。この式による個数分布と、数回の実験における河床の写真より読みとった個数分布の平均を図1に示す。これから小さい粒子は流れによって移動してしまう以外に振動などでより下層の空隙に埋没する傾向が強いため高さ方向に一様に分布し難いことがわかる。この場合河床表面の平均粒径は $d_{ms} = 11.09\text{mm}$ となった。以後この値を混合砂の代表量とする。次に河床の凹凸について見ると、その標準偏差は0.260cmであった。また先の研究⁽¹⁾で用いた $d_m = 12.0\text{mm}$ の一樣な自然砂礫床の凹凸の標準偏差は0.353cmでその程度は同じといえる。なお $d_{ms} = 11.09\text{mm}$ はほぼ d_{p2} に対応している。

2.2 限界掃流力に関する実験 上述の混合砂礫床を用い勾配は0.02~0.198の範囲で8種類とした。実験は一樣砂の場合⁽¹⁾と同様に移動床部分を金網でおおい、等流になるのを待って金網を上げる分間通水する。移動個数は下流端で30秒単位で数えた。同時に水深、流量、水温を測定した。これを流量を少しづつ変えながら繰り返した。図2は水深と移動個数の一例である。移動限界の定義は常に問題となるが、ここでは平均粒径以上の粒子は最初の30秒間にはじめて動く状態を、また平均粒径以下の粒子については最初の30秒より後ではじめて動く状態をもって定義した。これは小さい粒子については金網を上げることによる影響を除くためであり、大きい粒子についてはあくまでも初期の河床状態に対する限界掃流力を求めるためである。理論河床面の決定法についても未だ確定的なものはないがここでは一樣砂の実験と同様に、その高さより上に

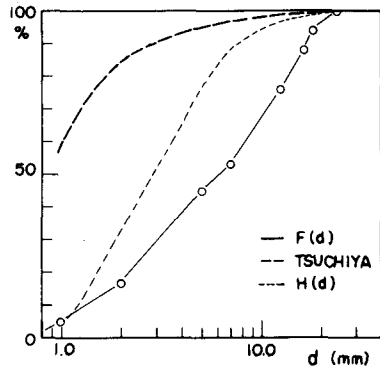


図1. 粒度分布と突出個数の頻度分布

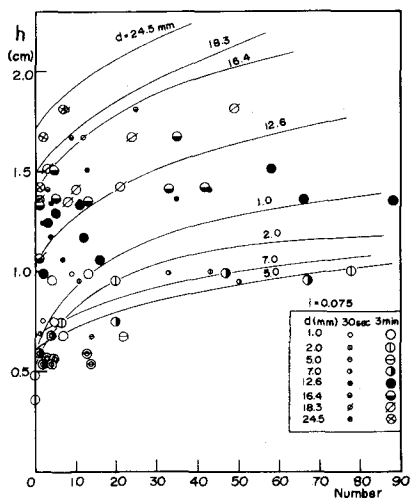


図2. 水深と移動個数の関係の一例

表面の25%が突出するような高さをもって理論河床とした。 S_{sc} おお側壁の補正はEinstein法によった。

3. 結果及び考察

図3に限界掃流力 S_{sc} の d_{ms}/h と d_i/d_{ms} による変化を示す。結果は S_{sc} が d_{ms}/h の増加とともに増加するという一様砂の場合⁽¹⁾と同じ傾向を示しその値も $d_i/d_{ms}=1$ ではほぼ一致している。 d_i/d_{ms} の効果についてみると $d_i/d_{ms} < 1$ ではより大きな粒子による遮へい効果により限界掃流力が大きくなっている。また $d_i/d_{ms} > 1$ では限界掃流力が一様砂の場合とほぼ等しくなって Egiazaroff の式⁽⁴⁾で表わされるようには小さくならない。これは粒子を敷き並べる際に粒子の頂の高さに上限を与えたことによると考えられ、同じ混合砂においても粒子の相対的配置が重要であることがわかる。また d_i/d_{ms} の効果の d_{ms}/h による変化を見ると、 d_{ms}/h が大きくなるにつれて $d_i/d_{ms} < 1$ に対する S_{sc} も一様砂のそれに近づく傾向がある。換言すると、勾配が急になると d_i/d_{ms} の S_{sc} に対する効果が小さくなるということであり、流速分布形が一様化の傾向を持つことが予想される。以上の考察から混合砂礫の移動限界は流れの特性とくに流速分布と個々の砂礫の混合砂礫床における位置によって決まり、流速分布や抵抗則を支配する代表粒径や、砂礫の相対的位置と移動砂礫層を形成している粒度分布との関係の研究が必要であることがわかる。図4は本実験における抵抗係数の d_{ms}/h と U_{*gd}/d_{ms} による変化を示している。これらの

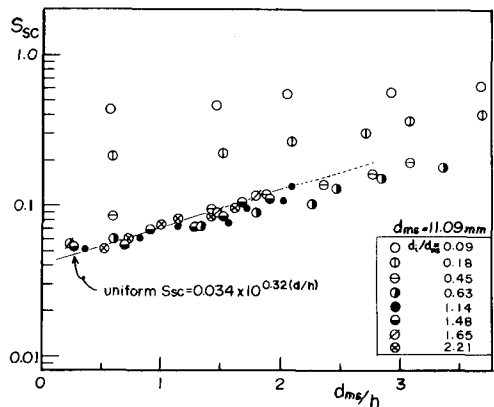


図3. 限界掃流力の d_{ms}/h と d_i/d_{ms} による変化

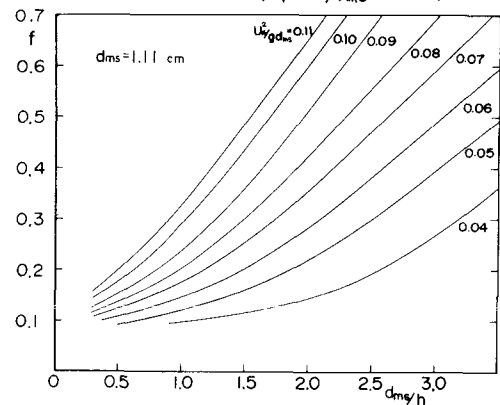


図4. 抵抗係数の d_{ms}/h と U_{*gd}/d_{ms} による変化

値は先の研究の結果とほぼ一致している。図3と図4を用いると急こう配流れにおける混合砂礫の移動限界水深流量がわかることになる。なお勾配が0.15以上において最大粒径移動以前の水深で砂層の増状移動が生じることがあり、とくに勾配が0.198において顕著であった。この現象は砂礫の各個運搬から集合運搬への移行として興味深い。土質力学的な要定条件では勾配0.375が飽和状態の限界値となり流水の影響の大きい迂回現象と思われる。

4. 結論 (i)以上急こう配水路における混合砂礫の移動限界に関する実験によって、 S_{sc} が d_{ms}/h の増加とともに増加すること、また $d_i/d_{ms} < 1$ については d_i/d_{ms} が小さくなるほど S_{sc} が増加することがわかった。また d_{ms}/h が大きくなると d_i/d_{ms} の S_{sc} に対する効果が小さくなり一様砂のそれに近づくことがわかった。

(ii)混合砂礫床の代表粒径として移動床全体の平均粒径より河床面に突出する砂礫の平均粒径 d_{ms} を用いることを提案し d_{ms} を用いて結果を整理した。今後混合砂の表面の凹凸、各粒径の存在する高さの分布に粒度分布が与える影響について研究していくつもりである。

(iii)急こう配流れにおける水理現象を解明するには流速分布、乱れ特性、抗力係数などの評価に関する研究をより進める必要がある。

(参考文献)

- (1) 芦田、大同、高橋、水山「急こう配流れの限界掃流力に関する研究」第17回水理講演会講演集、1973
- (2) 芦田、高橋、水山「急こう配流れの抵抗と限界掃流力について」関西支部年講概要集、昭和48年
- (3) 土屋義人「混合砂礫の限界掃流力に関する研究」京大防災研究所年報第6号、昭和38年
- (4) Egiazaroff, I.V.: Calculation of Non-uniform Sediment Concentration, Proc. of ASCE, Vol. 91, No. HY4, 1965