

混合砂礫の流送に関する研究

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 学生員 水山高久

1. 緒言 著者らは粒度範囲の広い混合砂礫の限界掃流力と掃流砂量について研究を進めている。芦田、道上は混合砂礫の移動限界について実験をおこない、Egiazaroffの粒径別限界掃流力を修正し粒径別流砂量式を提案した。これに対し著者らは先の研究<sup>(1)</sup>において混合砂礫の流砂量式中の限界掃流力について議論し、その限界掃流力が粒径に無関係に平均粒径の限界掃流力の0.85倍の一定値をとり、混合砂礫の流砂量が平均粒径に関する水理量のみで求められることを示した。そこでは流砂の粒度分布は河床砂のそれに等しいとして実験値と比較した。ところが粒度範囲の広い材料で実験をおこなうと、通水初期に相対的に粗い粒子が多く流出し細粒はほとんど流出しないことを経験する。これは粒子の存在高さ起因する移動速度の差によるのか、それとも小粒径粒子がより大きな粒子によって遮へいされるためであるのか、興味ある問題である。本研究は混合砂礫の移動を流砂量式の立場から考察するものである。

2. 混合砂礫の流砂量に関する実験 まず混合砂礫の流砂量の時間的变化について調べる。図-1の(A)に示す粒度分布を有する混合砂礫を幅20cm、厚さ3cm、長さ9mに敷き、数種の勾配、流量に対して下流端に流出する流砂量を調べた。通水初期の流砂の粒度分布を図-2に、また給砂のある場合の下流端流砂量の変化を図-3に示す。図-2から通水初期において小粒径がほとんど流出しないことがわかる。図-3では時間とともに水路内の細粒が増加して多く流出するようになるが給砂の影響で周期をもつことを示している。また給砂のない場合には、水路内の粒度分布が時間とともに細かくなり、流砂量が数分後には初期の倍程度まで増加することもわかった。このように混合砂礫の流砂量は、水理量が一定でも時間的に変化するものであることがわかった。河床面の粒度分布を正しく知れるのは初期の河床状態だけであるから、ここでは通水初期の流砂量について考察する。初期に粗粒分が流出し細粒分が流出しないのは移動中の粒子の存在高さによると考えられるので、次に混合砂礫の流送状態を側方より観察した。

3. 混合砂礫の流送に関する実験 図-1の(B)に示す最大粒径16mm、最小粒径0.74mmの粒径毎に一部着色した混合砂礫を幅20cm、厚さ9cm、長さ6.7mに敷き、勾配( $i_b$ )を0.02~0.15の間で変化させて砂粒の運動を撮影した。ただし給砂はない。本実験によって

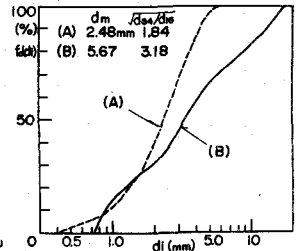


図-1 実験砂の粒度分布

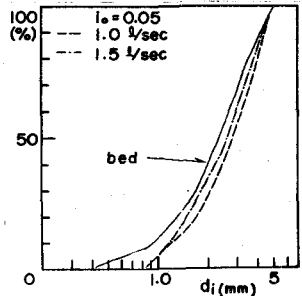


図-2 初期流砂量の粒度分布

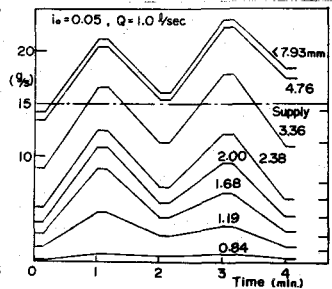


図-3 流砂量の時間的变化

わかったことをまとめると次のようになる。①移動粒子の頂点の高さは、掃流力の特に大きくない場合には、河床からその粒径だけはなれたところにあり、平均粒径オーダーの凹凸のある固定床上を砂礫が移動するのと同じとみてよい。②移動している粒子の速さは粒径に無関係にほぼ等しくなっており、先の研究<sup>(1)</sup>の仮定を支持している。しかし大きい粒子について少し速い傾向もあるので、さらに広い粒度分布については検討を要する。③最大粒径が移動する状態では、小粒径は下方に転落し、小粒径粒子はより大きな粒子によって遮へいされるようになる。側面から観察していると、通水初期には移動している小粒径粒子(ここでは35%粒径以下)はほとんど見られず、移動しても河床のすきまに入ったり、河床面の砂礫の後流域にとどえられたりして非常に移動しにくい状態にあることがわかった。このような混合砂礫中で小粒径が下方へ転落する現象は、大同<sup>(2)</sup>によって土石流を対象として研究されているが、掃流砂においても生じており、粒度範囲が広くなると顕著になるようである。④掃流力がさらに増すと(本実験では $i_0 > 0.1$ ,  $T_{*m} > 0.33$ )粒子は独立に移動するというよりは、移動する大粒径の間を中程度の粒径が埋める形で移動するようになり、この状態では、上に述べた移動粒子の粗粒化が非常に顕著になる。

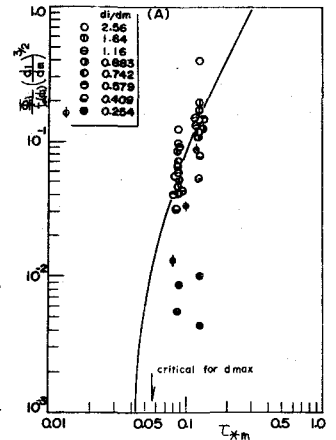


図-4 粒径別流砂量

4. 移動する混合砂礫中での遮へい効果の評価 上述の移動粒子の粗粒化は、小粒径を大粒径が遮へいするためである。<sup>(3)</sup> そこで通水初期に採取した流砂の粒径別流砂量を示す。(図-4)これによると、 $d_i/d_m > 0.4$ ではほぼ著者らが先に提案した流砂量式 $(\frac{1}{10}) \frac{Q_{*m}}{U_{*c}^3} (\frac{d_i}{d_m})^{3/2} = 10 T_{*m}^{3/2} (1 - 0.85 \frac{T_{*m}}{T_{*m}}) (1 - \sqrt{0.85 \frac{T_{*m}}{T_{*m}}})$ で表わされるが、 $d_i/d_m = 0.25$ では流砂量が1桁小さくなっている。実験範囲がせまいので断定はむづかしいが、この流砂量の差を上式中の限界掃流力で表現すると、図-5(○印)のように小粒径ほど移動しにくくなりEgiazaroff曲線の左側の傾向をもち、先の停止限界実験(●印)の延長上にある。このように混合砂礫の流砂量式における限界掃流力は、修正Egiazaroff式とは全く逆傾向の曲線で表わされることがわかった。ただし、この傾向は粒度分布の影響を強く受けると考えられるので、平均粒径との比だけで十分表わされるというのは疑問であり、粒度分布を考慮する必要がある。最後に3節の④で述べた流れで、粒子の移動速度を調べると図6のようになり、勾配は $3/2$ で衝突効果の大きな流れとなっているようで、このような状態の流砂量に対してはさらに検討を要する。

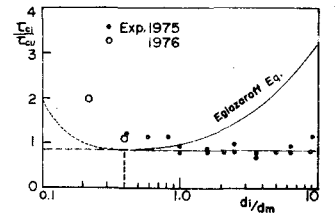


図-5 限界掃流力

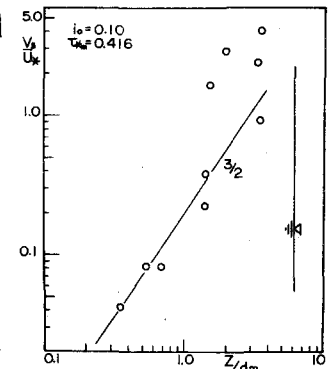


図-6 粒子の移動速度分布

<参考文献>  
 (1) 若田, 高橋, 水山「砂礫の停止限界と移動限界に関する研究」才30回土木学会年講概要Ⅱ-143, 1975  
 (2) 大同洋之「水を伴う流れの示るい分け現象」才30回土木学会年講Ⅱ-157, 1975  
 (3) 若田, 水山「山地河川を対象とした掃流砂量に関する研究」才29回土木学会年講, 1974