

粘土・砂混合河床における流砂機構に関する研究

京都大学防災研究所 正会員 芦田和男
京都大学大学院 学生全員 ○田中健二

1. まえがき

山腹斜面をはじめとして土砂の生産源となる表土の侵食は、その中に通常いくらか含まれている粘土分の耐食性のために、砂河床とは異なった形態をとるが、その機構に関しては未解明の点が多い。本研究はその基礎的な場合として、一様砂にベントナイトの混入した河床における流砂機構を考察し、それを水路実験によって検討したものである。

2. 流砂機構のモデル化

河床を、混合物の領域Ⅰおよび一旦侵食されたのち堆積した砂粒の領域Ⅱに分け、それぞれの領域についての単位面積・単位時間あたりの砂粒の侵食量を $\bar{E}_1$ および $\bar{E}_2$ 、河床面において領域Ⅱが占める割合を ϕ とすれば、河床の単位面積から単位時間に侵食される砂粒の中で領域ⅠおよびⅡからのものは、剥離した砂の遮蔽効果が無視できる範囲について、

$$\bar{E}_1 = \bar{E}_1 (1 - \phi) \quad , \quad \bar{E}_2 = \bar{E}_2 \cdot \phi \quad (1)$$

で表わされる。 ϕ が時間的に変化しない場合には堆積量 D が $\bar{E}_2$ とつり合うから、流砂の連続式はつぎのようになる。

$$(1 - \lambda') \partial Z / \partial t = \partial q_b / \partial x = \bar{E}_1 (1 - \phi) \quad (2)$$

ここに Z は河床面の高さ、 q_b は掃流砂量、 λ' は河床における砂の空隙率である。境界条件は上流からの給砂もない場合には、

$x=0$ において $q_b=0$ である。流下方向に掃流力が変化しなければ、充分下流では砂粒が河床の全面を覆って平衡状態に達し、そこでの流砂量 q_b は従来の流砂量式から算出できであろう。一方、上流端の近くでは河床のほぼ全面に混合物が露出しているから、 $\bar{E}_1$ が重要な意味をもつ。

$\bar{E}_1$ の値は、掃流力と砂粒のもつ抵抗力および砂の空隙に存在するベントナイトの耐食性によって支配されるが、ひとつの砂粒についてみれば、その周辺のベントナイトの侵食によって砂粒が移動しうる状態になる過程と、流水によってその砂粒が移動するまでの過程とに分けることができる。すなわち、同じ場所から砂粒が移動する時間間隔 $\bar{T}$ は、ベントナイトが侵食されるのに要する時間 $\bar{T}'$ と、砂粒が移動しうる状態に在りてから実際に移動するまでの時間 $\bar{T}$ との和である。ここに $\bar{T}$ は、砂河床における平衡条件より、砂の空隙率 λ 、粒径 d および平均移動距離 l を用いて式(3)で求められる。

$$\bar{T} = (1 - \lambda) d l / \bar{q}_b \quad (3)$$

$\bar{T}'$ は、ベントナイトのみの河床が d だけ低下するのに要する時間を T_c 、砂の存在がベントナイトの侵食に及ぼす効果を係数 k_1 で表わすことにすれば、式(4)で求めることができる。

$$\bar{T}' = k_1 T_c \quad (4)$$

以上のことから、混合河床の侵食速度 $\bar{E}_1$ に関してつぎの式が成立する。

$$(1 - \lambda') d / \bar{E}_1 = \bar{T} = k_1 T_c + \bar{T} \quad (5)$$

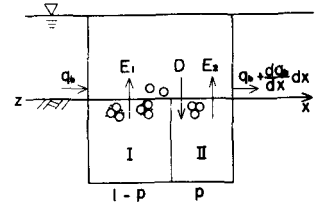


図-1 モデルの記号説明図

3. 水路実験による流砂量

ならびに河床低下の測定

幅20cm. 水配1/100の水路に粒径1mmのこ砂とベントナイトの混合物をしき、30分間通水した。

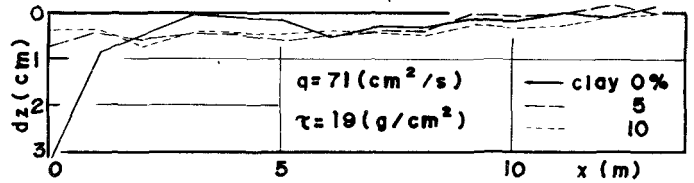


図-2 砂河床と混合物河床における河床低下形態

図-2にみられるように、砂河床では上流端が激しく洗掘されて少し下流からはほとんど低下していないのに対し、混合物河床では、緩慢にはあるが、長い区間にわたってほぼ平行的な低下が生じ、ある点 $\bar{x}$ においてそれが急に止まっている。これに対応して図-3によれば、河床長が短い間は流砂量 $\bar{q}_0$ は直線的に増加するが、それが平衡状態の流砂量 $\bar{q}_0$ に達するともはや増加しなくなる。なお、そのように状態が急に変わる点 $\bar{x}$ よりも上流では、剥離した砂粒はまばらにしか存在せず、 ϕ の値は1に比べて充分小さい。したがって、式(4)より、 $x < \bar{x}$ において $\bar{E}_1$ は一定値をもつことになる。 $x = \bar{x}$ で $\bar{E}_1 = 0$ となるのは、 ϕ がある値 ϕ_0 に達したときに急激に遮蔽効果が現われるからであろう。

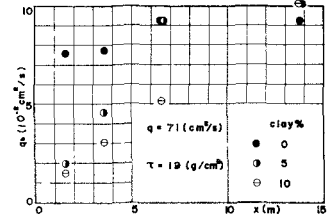


図-3 河床長と流砂量の関係

ここで $\bar{x}$ の値は $\bar{q}_0 / \bar{E}_1$ となり、 $\bar{q}_0$ は従来の流砂量式で算定できるから、問題は $\bar{E}_1$ の決定に帰着する。

4. 混合物の侵食速度 $\bar{E}_1$ について

第2節に述べたように、 $\bar{E}_1$ を決定する上での問題点は、粘土自体の侵食機構を解明して T_c を求めることと、砂の存在が粘土の侵食に及ぼす影響を解明して $\bar{E}_1$ を求めることである。一般に粘土の侵食性は鉱物組成によって異なるが、さらにベントナイトに限定しても、図-4のRun 4~6にみられるように含水比や練り返し後の時間によって変化する。図-4のRun 2,3は前節の実験における混合河床の場合であるが、砂の粒径が異なれば、これらの関係は変化するであろう。 $\bar{E}_1$ の値は現在のところ直接には求まらないが、式(5)を用いて実験値から間接的に推定することは可能である。そこで、図-4のRun 3および4における低下速度から T および T_c を求め、一方 $l = 100$ dと仮定することにより、 $\bar{q}_0$ の実測値から式(3)を用いて $\bar{T}$ を計算した例を示すとつぎのようである。

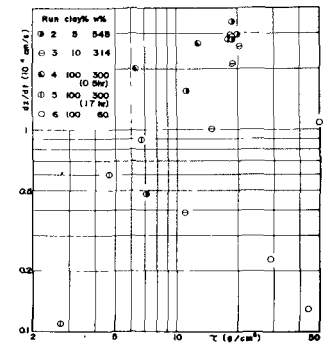


図-4 河床低下速度

例1. $q = 71 \text{ cm}^2/\text{s}$ の場合 $T = 383$ 秒, $T_c = 375$ 秒, $\bar{T} = 6.5$ 秒

例2. $q = 16.5 \text{ cm}^2/\text{s}$ の場合 $T = 2083$ 秒, $T_c = 495$ 秒, $\bar{T} = 1600$ 秒

例1はかなり活況な流砂が存在する場合、例2は限界掃流力を少しうわまわった場合であるが、いずれも $T \approx T_c + \bar{T}$ となっており、これらの例に関するかぎり、 $\bar{E}_1 \approx 1$ である。

5. 結論

以上、粘土・砂混合河床における流砂機構をモデル化し、流砂量を求める上での問題点を粘土の侵食速度に帰着させた。しかし、粘土の侵食機構については未知の要素が多く、土質力学や電気化学の観点からも今後検討を加えていく必要がある。