

II-63 混合砂礫の移動限界について

京都大学防災研究所 正員 芦田 初男
京都大学防災研究所 正員 道上 正規
京都大学 大学院 学生員 江頭 進治

1. 緒言 混合砂礫床の河床変動を計算するにあたっては、混合砂礫の流砂量式をいかに正確に表わすかが重要な課題である。Egiazaroff によって提案された混合砂礫の粒径別の限界掃流力を佐藤・吉川・芦田式に適用することによって、混合砂礫の流砂量をほぼ表示できるとも前報¹⁾において示してしたが、一部 Egiazaroff の限界掃流力の式を直感的に修正しなおした部分があったので、これに関して実験的検討を加える。つぎに、以上のような考え方に基いて、混合砂礫の流砂量式を設定して、Armour coat の程度分布と河床変動について若干の考察を試みようとしたものである。

2. 混合砂礫の移動限界に関する実験的考察 実験水路は幅 20cm、長さ 20m の循環式水路で、この水路床に 6m の区間にわたって、平均粒径 2.47mm および標準偏差 $\sqrt{d_{84}/d_{16}}$ が 3.73 の混合砂礫をスプーンで、固定床の混合砂礫床を作製した。粒径が 1.75, 8.125, 28.7 および 0.357mm の 4 種類の砂礫にラッカーを塗って、これをトレーサーとした。着色砂礫の数を並べ方は混合砂礫床の部分に 16×5cm 程度の面積になるようにして、その個数は 50~100 個とした。

着色砂礫が休止から移動を終えるまでの過程と時間に関する step と定義すれば、この移動過程が時間に関して一応で将来の変化が過去と独立であるとして仮定することによって、床底(着色砂礫の設置地所)に残留する確率は次式のように表わされる。

$$N(t)/N(0) = e^{-\lambda_2 t} \quad (1)$$

ここに、 $N(t)$, $N(0)$; 時刻 t および 0 における原床の着色砂礫個数、 λ_2 ; 単位時間当たりの移動確率である。均一砂礫の移動床において、(1)式が成立することは実験的に確かめられているが、本実験のような固定床では移動し易い砂礫が時間の初期に数多く移動するが、残った砂礫は移動し難い状態になるに放置されるので、測定全時間にならって(1)式を適用できない。著者らは、図-1に示すように新設時間を 30秒および 60秒にとり、移動確率を決定した。これらの間にはあまり大きな差がみられないので、ここでは 60秒の評価時間によって移動確率を求め、土屋²⁾によって提案された移動確率 0.5%/s を移動限界状態の確率として、 u_{nc} を求める結果が図-2に示されている。この図における実際は Egiazaroff によって提案された流砂状態の限界掃流力の式を次式のように変形したものを示してある。

$$\frac{\tau_{ci}}{\tau_{cm}} = \frac{1.64}{(\log_{10} d_i/d_m)^2} \frac{d_i}{d_m}, \quad \frac{\tau_{cm}}{9(99-1)gd_m} = 0.06 \quad (2)$$

ここに、添字 m, i ; それぞれ平均粒径および各粒径に対応する。(2)式の実験的検証は $d_i/d_m = 0.4 \sim 9$ の範囲であるが、この図に示すように、著者らの実験では、 $d_i/d_m < 0.4$ では $\tau_{ci}/\tau_{cm} = 0.85$ (図中

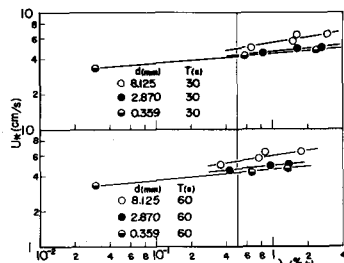


図-1 摩擦速度と移動確率の関係

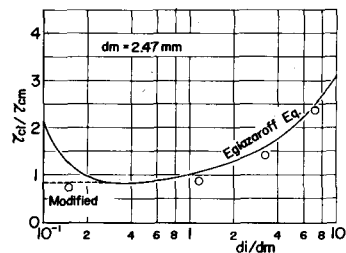


図-2 混合砂礫の限界掃流力

の定線)として、(2)式は修正しなければならないようである。今後実験の追加と計算時間の吟味をしなければならない。

3. 給砂のばい場合の混合砂礫床の河床変動

(1) armour coat 11初期の掃流力をとすれば、(a) $d < 0.85 \tau_{cm}$: 全砂礫は移動しない状態にある。(b) $0.85 \tau_{cm} \leq d \leq \tau_{max}$: 実験結果および流砂量式を参考から、移動しない砂礫が一部存在しているのて、顕著な河床変動は生じずR掃流力はほとんど変化しないことと明らかにされた。しかしながら河床砂礫の粒度分布は変化する。この領域を parallel degradation と呼ぶ。(c) $d > \tau_{max}$: 河床変動が生じるとともに、粒度分布の顕著な変化を示す領域で rotational degradation と呼んでいる。

以上のような河床変動に関する領域区分は混合砂礫床の河床変動を計算するにあたって、非常に能率的であり、実用的には(c)の場合が重要にうつてくると考えられる。この領域では、限界掃流力の値が流砂量に及ぼす影響は小さい範囲であるので、代表粒径を用いて流砂量式を使用することができる。佐藤・吉川・芦田氏に図-2の限界掃流力を適用すれば、

$$q_{bi} = \frac{1}{2} U_*^3 P(d_i) \int_{d_{min}}^{d_{max}} f_0(d_i) F(\tau/\tau_{ci}) dd_i \quad (3)$$

$$= \frac{1}{2} U_*^3 P(d_i) f_0(d_i) F(\tau/\tau_{ci}) / \int_{d_{min}}^{d_{max}} f_0(d_i) F(\tau/\tau_{ci}) dd_i \quad (4)$$

のように書け、(b)の領域では、河床低下量は高々数倍程度であるから、これを $j d$ で表わすと、armour coatの粒度分布は(5)式、一方流出砂礫の粒度分布は(6)式によって表わされる。

$$f_j(d_i) = (j+1) f_0(d_i) - j P_j(d_i) \quad (5), \quad \bar{P}_j(d_i) = \frac{1}{j} \{ P_1(d_i) + \dots + (j-1) P_{j-1}(d_i) \} \quad (6)$$

ここに、 $f_0(d_i)$, $f_j(d_i)$: 河床の初期および河床の j 局低下時の河床砂礫の確率密度分布、 $P_j(d_i)$, $\bar{P}_j(d_i)$: 河床の j 局低下時および平均の流出砂礫の確率密度分布である。(5),(6)の計算結果と実験値の比較が図-3に示されており、armour coatの粒度分布は(5)式と比較はよく一致している。

(2) 河床変動 従来用いられていた拡散型の河床変動を表わす式は次のように書ける。

$$\partial Z / \partial t = k \partial^2 Z / \partial x^2 \quad (7), \quad \text{ここに、} k = (21/20) \{ 1/(1-\tau) \} \frac{1}{2} F(\tau/\tau_{cm}) \frac{g}{(g-1)q},$$

$q = 1/2 U_*^3$ である。上式を(7)の初期および境界条件で解くと、(7)式の解は(8)式のようになる。

$$Z(x,t) |_{t=0} = 0, \quad \partial Z(x,t) / \partial x |_{x=0} = i_0 - i_c, \quad Z(x,t) |_{x=L} = 0 \quad (8)$$

$$Z = -(i_0 - i_c) \left[(L-x) - \frac{2}{e} \sum_{n=0}^{\infty} e^{-K \{ (2n+1) \pi / 2L \}^2 t} \left\{ \frac{2L}{(2n+1) \pi} \right\}^2 \cos \left\{ \frac{(2n+1) \pi x}{2L} \right\} \right] \quad (9)$$

ここに、 i_0 : 初期河床勾配、 i_c : 最大粒径の砂礫が移動限界に達する河床勾配、 L : 上流端と下流端の距離である。図-4からわかるように、計算値と実験結果はよく一致している。このことから、(c)の領域の河床変動の計算にあたって、代表粒径と上述の境界条件を用いて十分な精度で河床変動を議論できるのであることを示すに足るものと考えよう。

参考文献 1) 芦田・道上: 混合砂礫の河床変動, 第15回水理講演会講演集, 1971, 2) 天野・土屋・道上: 砂れつ流送機構の確率過程としての特性について, 京大防災研年報, 昭和43, 3) 土屋: 限界掃流力とその水工上の適用に関する研究, 昭38.

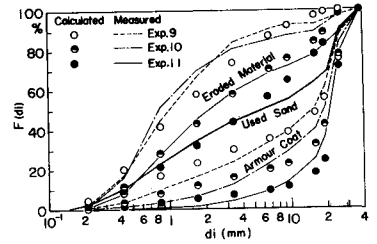


図-3 大まな砂礫の armour coat の粒度分布の計算値と実験値の比較

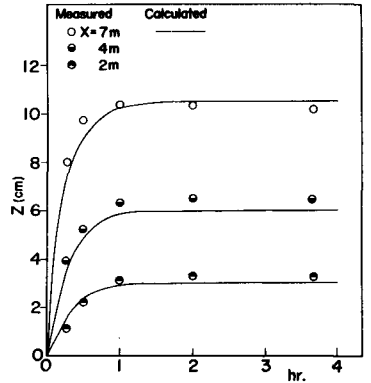


図-4 河床変動の計算値と実験値の比較
 $K = 200 \text{ cm}^2/\text{s}$ $i_c = 0.005$ $i_0 = 0.020$
 $g = 375 \text{ cm}^3/\text{s/cm}$ $L = 70 \text{ m}$