

II-10 砂礫の始動と移動量について

武蔵工業大学 正員 王 方一

要旨: 密に固定されたガラス玉の中, いくつかを自由にし, 槽壁の高さに露出させ, 流量を徐々に増しながら離脱時の水量を記録し, 粒子の水中静的マッ係数による影キヨウを整理した。またほぼ同じ粒径・形状の礫の表面での高さの分布を測定してマッ係数の分布を推測假定した。それにより移動割合を決め, 篠原他, 矢野他および筆者の実験による浸砂量と併用して集団平均移動速度と逆算し, 矢野他が着色礫により行った平均移動速度の実験値と比較した。細部ではいくつかの矛盾点は残されているが, Shields 限界以下でも浸砂量が存在する表示となっている。

§1. 6.6mm ガラス玉による離脱限界実験

高さ 20cm の水路底に 6.6mm のガラス玉を密に固定し, 横方向に $S_y = 4d$ 間隔に 5個と自由にし, 高さを槽壁に変え, 流量を漸増しながら離脱限界を記録した。下流側粒子とは A 型接觸(上から)  と $\lambda_{amp} = \mu$ は露出比より算出される。 $U_{cr1} = U_{cr1}/g_{sd}$ と U_{cr1}/d との関係は図-1 に示す(比重 2.3) これは基礎理論値も示されている。また U_{cr1} と d/R_0 との関係は図-2 に示す。これら 2 図により U_{cr1} に対する $\mu = \lambda_{amp}$ の影キヨウの重要さがわかる。

今, 粒子の円錐のつりあい式 $F_x l_x + F_z l_z + F_{ex} l_{ex} + W \sin \theta l_{ax} = W \cos \theta l_{az} \dots (1)$ に 抵抗力 $F_x = C_x \frac{1}{2} \rho U_{cr1}^2 l_x \alpha_x d^2$, 揚力 $F_z = C_z \frac{1}{2} \rho U_{cr1}^2 l_z \alpha_z d^2$, 粒子重 $W = g \rho_s d^3$ (浮力 $F_{Bz} = g \rho d^3 \cos \theta$) などと入れると $U_{cr1}/g_{sd} = K_N / \frac{1}{2 \alpha_x} (\alpha_x \frac{l_x}{l_{ax}} l_x C_x + \alpha_z \frac{l_z}{l_{az}} l_z C_z) \dots (2)$ したがって $K_N = \cos \theta \frac{l_{az}}{l_{ax}} - \frac{l_x}{l_z} \frac{C_x}{C_z} \sin \theta \dots (3)$ と得る。 $l_x = A_x/A$, $l_z = A_z/A$ 。また $U_{cr1} = (1 + K_N) U_{cr1}$, $K_N = \frac{U_{cr1}}{U_{cr1}}$, $U_{cr1} = a_0 U_{cr1}$; $T_f = (1 + K_N)^2$, $U_{cr1} = \frac{U_{cr1}}{g_{sd}}$ とおけば $l_{ex} = U_{cr1}/K_N = 1/\mu \dots (4)$ したがって $M = \frac{1}{2 \alpha_x} (\alpha_x \frac{l_x}{l_{ax}} l_x C_x + \alpha_z \frac{l_z}{l_{az}} l_z C_z) d^2 T_f \dots (5)$ 浸砂量は粒子に作用する電力を示す。他方, 水中の粒子の垂直条件より $l_{ex}/l_{ax} = \lambda_{amp} = \mu \dots (6)$ と得, 従って $K_N = \lambda_{amp} \cos \theta - \frac{l_x}{l_z} \frac{C_x}{C_z} \sin \theta \dots (3)'$

球の場合には $\alpha_x = \alpha_z = \frac{\pi}{4}$, $\alpha_3 = \pi/6$, したがって $l_x = \frac{1}{2} d \mu_x$, $l_{ax} = \frac{1}{2} d \mu_{ax} \dots$ とおけば $l_{ex} = U_{cr1}/K_N = 1/\mu \dots (7)$ したがって $M_0 = \frac{1}{2} \left(\frac{\mu_x}{l_{ax}} l_x C_x + \frac{\mu_z}{l_{az}} l_z C_z \right) d^2 T_f \dots (8)$ 。(7)式から l_{ex} は 基礎面 S_{ex} と同じ高さから起る M_0 は浸床力の作用高さ, 諸係数を含んでいる。 l_{ex} と d/R_0 の関係は図-3 のようであり, d/R_0 と共に増加するが, 高さの上下の散乱はガラス玉の大きさ, 形状, 比重, 配置上の差, 二次流の影キヨウによる浸量の不均等, 浸床の不連続性によると考えられる。 l_{ex} の低 d/R_0 値への延長傾向はわかりないが, ある基準浸砂量に相当する基礎面からの高さ l_{ex} (1973 年理論講, $\mu = 1.0$ or 1.3) の様子より類推して $d/R_0 = 2$ 以下はほぼ一定になるのと考えられと推測される。自然砂礫層に対する l_{ex} は $l_{ex} = U_{cr1}/K_N$, $U_{cr1} = U_{cr1}/K_N$ より $U_{cr1} = K_N (l_{ex}/K_N) \dots (9)$ と得る。 K_N は砂礫の形状, 接触粒子による遮へい, 相互間の穴あきによる総合係数で, 現時点ではそれを決める方法はなく以後の計算には l_{ex}/K_N とする値の値に変えて数値定数を用いた。

§2. 6.2mm の砂礫の露出比の分布

平均径 6.2mm (6.7mm 通過, 5.6mm 残留) の礫で構成されている礫面をへうで平らにし, 上から見える礫の頂面から礫露表面までの高さを 1 方向に順に測定した。試みに, 表面から深さ d_m までの総数 N_0 に対する高さの割合分布を調べたところ, 最頻値は約 0.31d, 従って 1 粒径を基準とする露出比は $\mu \approx 0.69$ に相当する。

またこの露出比の右の割合は約25%で最も表面にあるものは少数である。(図-4) ($\gamma_0 d = 0.1, 1, 2 \text{ mm} \dots$ 階級)
 $\gamma_0 = 0 \sim 1$ に対して比較的滑らかな分布をしている。 $N_{0.1} = \alpha_1 N_0$, $N_0 = \frac{1}{\alpha_2}$ とすれば, $\alpha_1 \approx 0.70$ と得る。表面から $1.8d$ (見える最深の点) に対しては $N_{1.8} = \alpha_{1.8} N_0$, $\alpha_{1.8} \approx 0.90$ となる。

ガラス玉の場合, $\gamma_0 = 1 \sim 0$ に対して $\mu = 0 \sim \infty$ が相対する。ゆえに μ は「分布 $f(\mu) = \lambda (\lambda \mu)^{\alpha-1} e^{-\lambda \mu} / \Gamma(\alpha)$ 」になるというと考えられ, γ_0 最上位 $\gamma_m \approx 0.69$ に対して $\mu_m = 0.77$ が相対する。実際の露出面は形状, ぬみあいなどが影響するで μ_m は多少大きくなると思われる。基準露線のとり方によっても変る。

§3. 平均移動速度

掃法砂量は $Q_B = \alpha N_0 \bar{v}_s P \cdot \bar{u}_{sm} \dots \dots (9)$ と表わされる。 P は表面より剥脱する割合, $\bar{u}_{sm}$ は剥脱砂の集団移動速度。今 $N_0 = k_0 / d^2$, $k_0 = \pi/4$, $\bar{v}_s = \alpha_s \bar{Q} d^3$, $\alpha_s = 1$, とすれば $\phi = 89 / \sqrt{\pi} \alpha = \frac{2}{3} \alpha P$ とする。 P は $\int_0^\infty f(\mu) d\mu \dots \dots (11)$ と記号し, μ は $K_0 \approx \mu$ (緩動係) と考え, $\mu_2 = \tau_0 / (\zeta_0 / K_2)$ とする。
 今回は 掃原池, 矢野池および筆者の法砂量実験値 (図-5) より中をとり, 式 (11) と併用して (10) 式より ϕ と逆算して見た。 $\phi = \bar{u}_{sm} / \sqrt{g s d}$ 。今 $\phi = 5$, $\lambda = 1.3$, $\alpha = 1.0$ また $\zeta_0 / K_2 = 0.012, 0.02, 0.04$ とし 算出値は図-6 に示す。描画は矢野池の著名碑による実験値である。 $\tau_0 = 0.06$ 以上は Einstein 曲線を用い 実線を示す。 $\tau_0 \leq 0.06$ では $\zeta_0 / K_2 = 0.02$ あたりであろうといえるが, λ , 基準厚 τ_0 , ζ_0 / K_2 などの選択に一度の検討が必要である。

§4 続き。平衡状態での難脱確率 $P = \int_0^\infty f(\mu) d\mu$ を使って表示すれば Kalinichev 型の法砂量表示でも限界掃法力以下の移動量は算出できるが, 自然露面に対する係数 K_2 のきめ方, 高さの分布と $\mu = \lambda \alpha m$ の分布との対応関係などいくつかの難点が残されている。

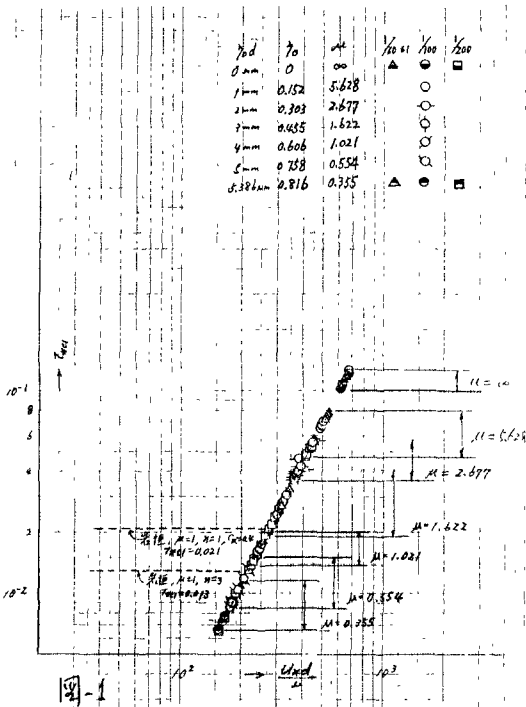


図-1

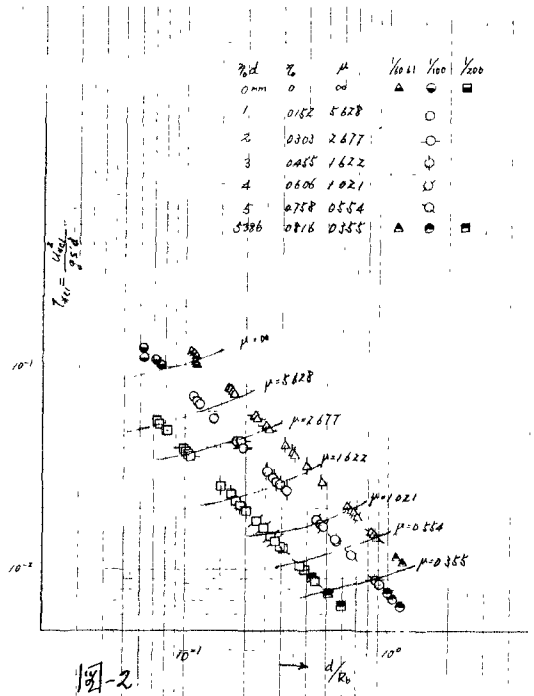


図-2

