

III-16 混合砂礫の限界掃流力について

京都大学防災研究所 正員 土屋義人

1. 緒言

流砂の機構とか流路の安定などの問題を究明する場合には多かれ少なかれ限界掃流力の重要になってくる。従来より限界掃流力に関する研究は数多くなされ、からりその水理学的な機構も明らかにされてきたように考えられるが、混合砂礫の限界掃流力に対しては適確な考察はほとんど進められていないといつてよいであろう。こうしたことから、著者は土木学会第45回年次学術講演会において、混合砂礫の限界掃流力に関する実験結果を発表したか、その後その水理学的機構の解明について簡単な考察を進めてきたので、その概要について説明する。

2. 限界掃流力に関する実験結果の概要

さきに用管路を用いて行なった実験結果を再整理し、従来の実験値や理論曲線と比較検討して、つきの諸事項が明らかになった。1)一様砂礫の場合における限界掃流力は、実験結果をさきに提案した砂礫の移動限界に対する定義に基づいて整理すると、岩垣博士や著者の理論曲線とよく一致する。2)限界掃流力は砂礫面における現象であるから、とくに混合砂礫の限界掃流力を考察する場合には、砂礫面に露出する砂礫の個数分布に立脚すべきである。混合砂礫の限界掃流力を代表する砂礫に対して、一様砂礫の場合と同じ移動限界の定義が適用できることが、従来の実験値との比較によって明らかにされた(図-2, 4, 5)。3)混合砂礫の限界掃流力は中央粒径のみならず標準偏差によって相違する。4)混合砂礫中の各砂礫の移動割合は、粒径の小さい方には限界がないようであるが、大きい方には限界があり、限界掃流力付近においては水流の筋分作用が顕著である。

図-2 限界掃流力の標準偏差による変化

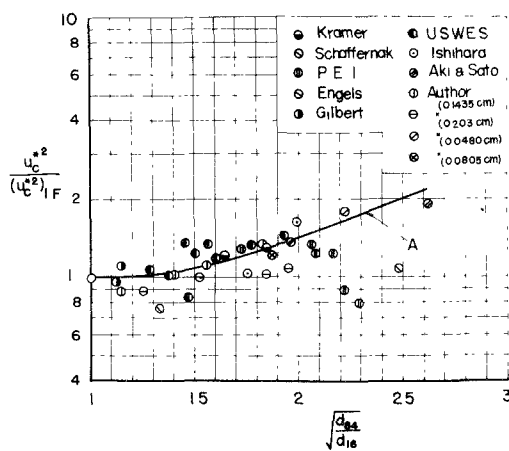
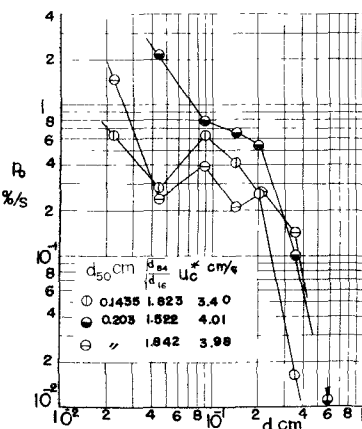


図-1 R_b と d との関係



3. 混合砂礫

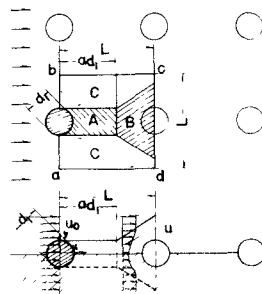
の限界掃流力に関する考察

混合砂礫の限界掃流力を代表する砂礫の平衡条件はつきのようになる。

$$\{(\sigma_r - \rho)g(\pi/6)d_r^3 - R_{Lr}\} \tan \phi_r = R_{Tr} \quad (1)$$

ここに、 d_r : 代表砂礫の大きさ、 σ_r/ρ : 比重、 ϕ_r : 静

図-3



止摩擦角, g :重力の加速度, R_{Tr} :砂礫に切く流れ方向の流体抵抗と圧力勾配による抵抗との和, R_{Lr} :鉛直方向の圧力勾配による揚力, である。

いま砂礫に切く流体抵抗を見積り場合の代表流速として, 相当粗度 K_s の高さに相当したところの流速 u_* を用いて(1)式を変形し, さらに代表砂礫に及ぼす他の砂礫の遮蔽効果を図-3 に示したような模型に基づいて, 砂礫面に露出する砂礫の分布特性と砂礫の後方に生ずる後流の特性とを考慮して, 混合砂礫の混合特性による遮蔽係数の変化を理論的に考察すれば, 限界掃流力は結局つきの関係によってあらわされる。

$$u_*^{*2}/(\sigma/\rho - 1)gd_{s0} = 1/\bar{E}_r \phi_i, \quad (i = 1, 2, 3) \quad (2)$$

$$\text{ここに, } \phi_i = \phi_i(u_*^* d_{s0}/\nu) \quad (3)$$

くあって その関数係は限界掃流力に関する岩垣博士の理論におけるものと同一であり, また d_{s0} : 砂礫面に露出している砂礫の中央粒径, u_*^* : 限界摩擦速度, ν : 動粘性係数, および $\bar{E}_r$: 代表砂礫に及ぼす平均の遮蔽係数である, 次式であらわされる。

$$\begin{aligned} \bar{d}_i/L \leq 1/2; \quad \bar{E}_r/\bar{E} &= \{1 - a(\bar{d}_i/L)^2 - \frac{5}{2} C_0(\bar{d}_i/L)^{2/3} \{1 - a^{2/3}(\bar{d}_i/L)^{4/3}\} \{(\bar{d}_i/L)^{1/3} - a^{1/3}\} / \{(\bar{d}_i/L) - a\}\}^2 \\ \bar{d}_i/L > 1/2; \quad \bar{E}_r/\bar{E} &= \{1 - (\bar{d}_i/L)\}^2 \end{aligned} \quad (4)$$

ここに, $\bar{E}$: 一様砂礫の場合の遮蔽係数である, C_0 : 砂礫の抵抗係数, $\bar{d}_i/L$: 図-3に基づき砂礫面の統計的一様性を仮定して計算されたつきの関係であらわされる。

$$\bar{d}_i/L = (\bar{d}_i/d_{s0})(g/\bar{f}_i)^{1/2}, \quad (5)$$

ここに, $\bar{d}_i$: 遮蔽効果を及ぼす砂礫の代表的な大きさ, $\bar{f}_i$: $\bar{d}_i$ の含まれる割合, g : 露出砂礫数をあらわす $(d_{84}/d_{16})^{1/2}$ のみの関数, である。図-4および5はそれと遮蔽係数および限界掃流力に関する理論曲線と実験結果との比較であり, 図-6はつきの実験公式に含まれる係数である。

$$\begin{aligned} R^* > 67.1: \quad u_*^{*2} &= 0.05 G_1 (\sigma/\rho - 1)gd_{s0}, \quad 162.7 \leq R^* \\ &\leq 67.1: \quad u_*^{*2} = G_2 \{0.01505 (\sigma/\rho - 1)g\}^{25/22} \bar{d}_{s0}^{-3/11} d_{s0}^{31/22}, \quad 54.2 \leq R^* \\ &\leq 162.7: \quad u_*^{*2} = 0.034 G_1 (\sigma/\rho - 1)gd_{s0}, \quad 2.14 \leq R^* \leq 54.2: \quad u_*^{*2} = G_2 \{0.1235 (\sigma/\rho - 1)g\}^{25/32} \bar{d}_{s0}^{7/16} d_{s0}^{11/32}, \quad R^* \leq 2.14: \quad u_*^{*2} = 0.140 G_1 (\sigma/\rho - 1)gd_{s0} \end{aligned} \quad (6)$$

ここに, d_{s0} : 砂礫の中央粒径, σ/ρ : 平均の比重, $R^* = G_1^{1/2} (\sigma/\rho - 1)^{1/2} g^{1/2} d_{s0}^{3/2} / \nu$ である。最後に指導を賜った石原教授, 岩垣教授に謝意を表明する。

図-4 遮蔽係数の $(d_{84}/d_{16})^{1/2}$ による変化

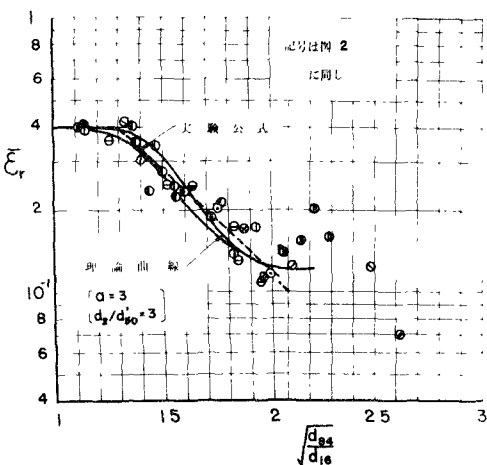


図-5 理論曲線と実験結果との比較

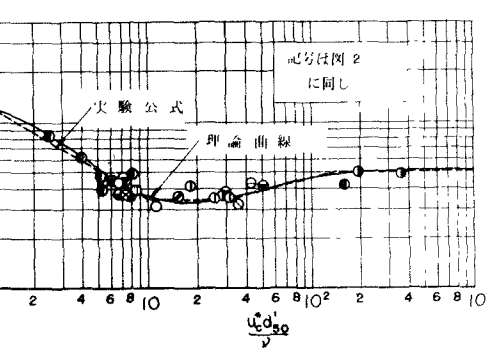


図-6 G_{Ti} ($i=1, 4$) の $(d_{84}/d_{16})^{1/2}$ による変化

