

固液混相開水路流れの抵抗特性に関する実験的研究

京都大学防災研究所 正員 今本 博 健
 京都大学防災研究所 正員 大 年 邦 雄
 大 阪 府 正員 ○西園 恵 次
 京都大学大学院 学生員 川 本 秀 夫

1. はじめに

1944年, Vanoni¹⁾により開水路汚濁砂流に関する種々の特性が実験的に示されて以来, 固体粒子を汚濁する流れの乱流構造の解明の重要性が多くの研究者に認識されるようになり, いくつかの優れた理論的および実験的研究^{2)~4)}によつて, その水理特性が次第に明らかにされてつた。いま, 固体粒子を汚濁する開水路流れを対象とした実験的研究について振り返ると, それらのほとんどは濃度の増加とともに水理特性がどのように変化するのかに着目したもので, すなわち, 固体汚濁粒子の濃度の効果のみを検討したものであつて, 比較される清水流の諸特性あるいは粒子の諸特性を系統的に変化させた一連の実験的研究は非常に少ないようである。

そこで, 本研究では, 固体粒子を汚濁する開水路流れの水理特性を規定する各種パラメータを次元解析手法を用いてまず明確にし, 次に, それぞれのパラメータが持つ効果について実験的検討を加えようとしてゐる。

2. 次元解析

さて, 一樣水路(長方形断面とする)内を流れる定常・等流の2次元清水流に固体粒子が汚濁する場合について考える。ただし, 路床は平坦固定床とし, 移動床流れで重視される路床形状の効果については取扱わないことにする。

以上のような流れの特性を規定する物理量としては次の諸量が挙げられる。

- | | |
|---|---|
| 1) 流体の物理特性: ρ_0 (密度), μ (粘性係数) | 4) 水路断面の特性: k_s (相当砂粒粗度高) |
| 2) 流体の水理特性: g (単位幅流量) | 5) 水路形状の特性: I_b (路床勾配), H (水深) |
| 3) 重力場の特性: g (重力の加速度) | 6) 粒子の特性: ρ_s (密度), d (粒径), C (体積濃度) |

上記の諸量のうち, 水深 H は独立量ではないが便宜的に規定物理量に含めておく。

路床勾配 I_b は, 摩擦速度 $U_\tau = \sqrt{gH I_b}$ を用いることによつて消去することもでき, さらに, 粒径 d も汚濁現象を対象とする場合には沈降速度 U_s に置換えることも可能である。したがつて, 固体粒子を汚濁する流れを規定する物理量を次のように置く。

$$\rho_0, \mu, g, \rho_s, k_s, H, U_\tau, U_s, C$$

いま, 基本量として ρ_0, g および H を選んで, π 定理により, 無次元量として次の7種のものが得られる。ただし, $\nu = \mu/\rho_0$ (動粘性係数), $U_m = g/H$ (断面平均流速) である。

$$Re = g/\nu \quad (\text{レイルス数}) \cdots \cdots (1), \quad Fr = g/\sqrt{gH^3} = U_m/\sqrt{gH} \quad (\text{フールド数}) \cdots \cdots (2)$$

$$k_s/H \quad (\text{相対粗度高}) \cdots \cdots (3), \quad g/(U_\tau \cdot H) = U_m/U_\tau \quad (\text{流速係数}) \cdots \cdots (4)$$

Hirotake IMAMOTO, Kunio OHTOSHI, Keiji NISHIZONO, Hideo KAWAMOTO

ρ_s/ρ_0 (相対密度) (5), $H\psi/\delta = \psi/\psi_m$ (相対地降速度) (6), C (体積濃度) (7)

以上の次元解析では, 従属量 H を規定物理量として扱った。このため, 清水流に対する4種の無次元量 (10~(4)) のうち, 独立なものは3種であることを注意しなければならない。以上より明らかなように, 清水流の特性を実験的に検討するには4種の無次元量 (うち独立なものは3種) との関係を探る必要がある。これに対し, 固体粒子を浮遊する流れの場合には, 粒子の特性に関する3種の無次元量 (5)~(7) を加えた合計7種の無次元量 (うち独立なものは6種) との関係を探る必要がある。

3. 実験的検討

3.1 抵抗係数に関する検討

抵抗係数 f は, 壁面せん断力と流体の慣性力との比として定義され, 定常等流の2次元開水路流水では, 摩擦速度 U_τ および断面平均流速 U_m を用いて次式のように表わされる。

$$f = 2 \left(\frac{U_\tau}{U_m} \right)^2 \quad (8)$$

したがって, 前述の次元解析により, 抵抗係数 f の変化は次式に基づいて実験的検討を加えなければならないことがわかる。

$$f = \phi(R_e, Fr, k_s/H, \rho_s/\rho_0, \psi/\psi_m, C) \quad (9)$$

ここに ϕ はある関数である。すなわち, ϕ に含まれる6種の無次元量のうち, 5種を一定に保ち, 残りの1つを系統的に変化させるような実験条件のもとでそれぞれの無次元量のもつ効果を調べ, ϕ の関数形を決定しなければならない。

3.2 平均速度分布に関する検討

著者らは従来より, 開水路浮遊砂流の平均速度分布について実験的検討を加えてきた。9) 滑面および粗面上の浮遊砂流における平均速度分布は, 清水流と同様, 次式の対数則で十分に表わしうることを示した。10)

$$\text{滑面: } \frac{U}{U_\tau} = A_s + \frac{1}{k} \ln \frac{U_\tau z}{\delta} \quad (0 < \frac{U_\tau z}{\delta} < 5), \quad \text{粗面: } \frac{U}{U_\tau} = A_r + \frac{1}{k} \ln \frac{z}{k_s} \quad (5 < \frac{U_\tau z}{\delta} < 70), \quad \dots (10)$$

ここに A_s および A_r は積分定数である。したがって, 対数則の成立を認める場合, 平均速度分布の変化は U_m/U_τ と k の変化によって説明されることになる。なお, U_m/U_τ の変化は抵抗係数 f の変化に対応しており, 結局, カルマン定数 k が式(9)の ϕ に含まれる無次元量に対してどのように変化するかを検討すればよいことになる。

浮遊砂流以外の場合に対する平均速度分布については, 未だ不明の点が多く残されているため, 上述の各無次元量をそれぞれ系統的に変化させた場合について詳細に検討しなくては必要がある。

4. おわりに

実験結果については講演時に発表させて頂くこととする。

(参考文献)

- 1) Vanoni, V.A.: Proc. ASCE, Vol. 70, 1944.
- 2) 橋本一郎: 土木学会誌, 40-9, 1955.
- 3) 志村博康: 土木学会論文集, 46, 1952.
- 4) 日野幹雄: 土木学会論文集, 92, 1963.
- 5) Itakura, T. and T. Kishi: Proc. ASCE, Vol. 106, 1980.
- 6) Ismail, H.M.: Trans. ASCE, Vol. 117, 1952.
- 7) Einstein, H.A. and N. Chien: Missouri River Division, U.S. Corps of Engineers, 1954.
- 8) Elata, C. and A.T. Ippen: Tech. Report, No. 95, Hydrodynamics Lab., MIT, 1961.
- 9) 今本博徳, 梅沢雄二: 宮城: 第34回年報, II-78, 1979.