

北海道大学工学部 正員 ○ 秋倉 忠興
 北海道大学工学部 正員 岸 力
 大島工務所(株) 正員 篠田 美樹

緒言 著者らは第30・31回年次講演会において Monin-Obukhov length を取入れた解析方法によって浮遊砂流の特性を統一的に算出する手法を提案した。本文はその後の解析結果を述べたものである。完全浮遊流については実験結果を用いて浮遊の限界に対する検討を行なって Flux-Richardson 数で良く表現できることを見出し、その結果を管路における解析と比較して検証した。又、浮遊限界最大粒径については実際河川の資料をも含めて、井上の解析及び Kresser・浅田式の検討を行なった。河床に堆積のある浮遊砂流については、河床砂の露出に対する Lane-Kalinske 及び岸モデルを参考にした基準点濃度算定式を導出し、これにより浮遊砂量を算定して実測値と良く一致する結果を得た。

1. 浮遊砂流における浮遊限界

砂粒子を浮遊した流れにおいて次第にその濃度を増加させてゆくと、やがて水流は給砂量のすべてを浮遊させることができなくなり、河床に堆積が始まる。浮遊砂流のエネルギー方程式¹⁾において、乱れエネルギーの発生量と砂粒子を浮遊させるためのエネルギーの比を用いて(1)式の Flux-Richardson 数を定義する。(L:水深, w_b :沈降速度)

$$R_f = \frac{L}{L} (1 + \alpha \frac{L}{L})^{-1}, \quad \frac{1}{L} = \frac{K q (p-1) w_b c}{u_*^3} \quad (1)$$

(1)式により実測値の検討を行なった結果が図-1であり浮遊限界として(2)式を得た。

$$R_{fc} = 0.02 \quad (2)$$

管路の流れにおいては開水路とは異なり境界条件が簡単なことから、比較的整った関係が幾つか得られている。管路における砂輸送パラメータ Φ の定義は損失水頭を基に

$$\Phi = \frac{(\frac{\partial h}{\partial L})_m - (\frac{\partial h}{\partial L})_l}{\bar{c} (\frac{\partial h}{\partial L})_l} = \frac{(\frac{\partial h}{\partial L})_s}{\bar{c} (\frac{\partial h}{\partial L})_l} \quad (3)$$

Durand²⁾によれば $p = 2.65$ の土砂に対して

$$\Phi = 180 \left[\frac{V^2}{gD} \sqrt{\frac{gD}{u_*^2}} \right]^{-\frac{3}{2}} \quad (4)$$

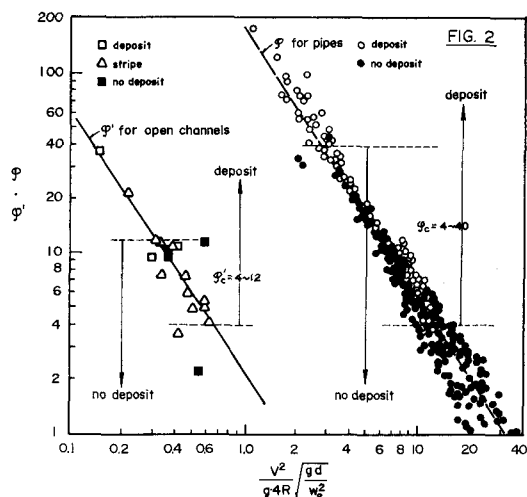
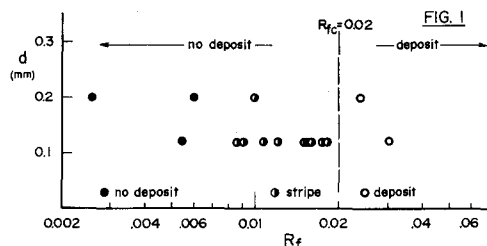
(4)式は異方性流から掃流砂流までの広い範囲に対して実測値を良く説明している。(D:管径, V:平均流速)

(3)式と同様のパラメータを著者らの方法により開水路浮遊砂流に対して定義を行なうと

$$\Phi' = \frac{1}{K \bar{c}} \frac{u_*}{V} \frac{R_f}{1 - \alpha R_f} \quad (5)$$

浮遊限界は(2)式を代入して $\Phi'_c = \frac{0.058}{\bar{c}} \frac{u_*}{V}$ (6)

図-2は以上の関係を示したものであり、完全浮遊流と堆積流との境界は管路では $\Phi_c = 4 \sim 40$ 、開水路では、 $\Phi'_c = 4 \sim 12$ と同程度の値となっている。図-3は Kresser・浅田の関係を示したものである。広い範囲の質



料に対し平均的には合致しているが個々の値についてはちがいが大きい。

2. 基準点濃度 (河床に堆積がある場合)

基準点濃度式は順次改善されているがまだ充分とは言えない。著者らは Lane-Kalinke, 等⁴⁾ のモデルに準じ Yalin の掃流砂理論を参考にして粒子の鉛直方向の浮上速度を改良し、新たに基準点濃度式を導いた。

河床より浮上する粒子 (粒径 d) の鉛直方向の速度を U_s とし、河床粒子との粒子交換に要する特性時間を (7) 式で仮定すれば、単位面積単位時間当り河床から浮上する体積 q_{su} は (8) 式となる。

$$t_2 = \frac{k_2 d}{U_s} \quad (7), \quad q_{su} = \frac{\tau d^3}{6} \frac{k_1}{\frac{\pi}{4} d^2} \frac{1}{\frac{k_2 d}{U_s}} = K U_s \quad (8)$$

粒子が離脱する際の初速度を U_0 とすれば $U_0 = U_s - U_{*0}$ 。

粒子に対する力積方程式は、重力を G , 変動する揚力 F とし

$$(F - G) t_0 = (\beta_s \frac{\pi}{4} d^3) U_0 \quad (9), \quad F_0 = \alpha_* d / U_* \quad (10)$$

(9) 式に (10) 式を代入して、 $F = \beta_s \frac{\pi}{4} d^3 U_*^2$, $G = (\beta_s - 1) \frac{\pi}{4} d^3$ とし F を平均値と変動成分とに分けて

$$U_0 = \bar{F}_0 \frac{(\beta_s - 1) \frac{\pi}{4} d^3}{\beta_s} \left(\frac{F}{G} - 1 \right), \quad \frac{F}{G} = \frac{\bar{F}}{\bar{F}_0} \frac{F}{G} = r \frac{q_s}{\bar{q}_s} \quad (11)$$

粒子の離脱条件は $F > G$ 。 F の変動成分の確率密度関数は正規分布とし、平均値がこれに等しいと仮定すれば

$$r = 1 + r' = \frac{F}{\bar{F}} > \frac{G}{\bar{F}_0} = \frac{\frac{\pi}{4} d^3}{q_s \bar{q}_s} = a \quad (12)$$

$$\left(\frac{F}{G} \right)_{F>G} = \bar{q}_s \frac{q_s}{\bar{q}_s} \int_{a-1}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{r'^2}{2}\right) dr' \quad (13)$$

一方、単位面積単位時間当りに河床に沈降する体積は $q_{sd} = w_0 C_b$ (14)

以上より基準点濃度 C_b は、定数に Yalin⁵⁾ の修正値を用いて

$$C_b = K \left[\bar{F}_0 (r - 1) \frac{q_s}{U_{*0}} - 1 \right], \quad \Omega = \left[\frac{\bar{F}_0}{0.133} \int_{0.167 \bar{F}_0 - 1.256}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp(-z^2) dz \right] - 1 \quad (15)$$

実測値との比較から $\alpha_* = 0.7$, $K = 3 \times 10^3$ として結果は図-4 のようである。

即ち、(15) 式によれば U_s/U_{*0} が或る値に達すると急激に浮遊砂量が増大する事実が良く説明されている。濃度分布の計算の一例を図-5 に示す。

ところで (13) 式に (11) 式で r の平均値を代入する (14) 式の Ω に相当する Ω' は (16) 式となるが、 Ω と Ω' の特性は殆んど一致する。このことより特に浮遊の限界付近について前述の仮定は妥当であると考えられる。

$$\Omega' = \left[\frac{\bar{F}_0}{0.133} \int_{U_s/U_{*0} - 1}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp(-z^2) dz \right] - 1 \quad (16)$$

本研究には当時の本学部学生に村上秀夫君の協力を得、文部省科学研究費の援助を受けた。深く謝意を表した。

参考文献

- 1) 牧倉・岸・中山・藤田：第30・31回年次講演会，1975, 1976。
- 2) Durand: Proceedings 5th IAHR, Minneapolis, 1953。
- 3) 浅田：北海道大学学位論文，1975。
- 4) 岸・藤・山崎：第20回年次講演会，1965。
- 5) Yalin: Book, Pergamon Press, 1972。
- 6) 村上：航電学会誌，第1巻，第1号，1949。

