

早稲田大学 大学院 学生会員 井筒 庸広
 新技術計画(株) 正会員 笠井 一郎
 早稲田大学 理工学部 正会員 吉川 秀夫

1. 序論 従来より掃流砂に關しては数多くの理論的研究や実験的研究があり、それらは多種多様にわたっている。その中で本研究は、吉川、山田、望月²⁾により提案された、砂粒子の“存在確率”という概念を用いた、掃流砂理論の実験的検証を行つていくことを目的とする。

2. 理論 一般に水流中を輸送される土砂量は流砂の濃度分布とその流下速度とによつて(1)式のように表わすことが出来る。ここに Z は平均河床面を原点とする鉛直方向座標、 h は今の場合掃流層の高さ、 $C(Z)$ は土砂濃度分布、 $U(Z)$ は土粒子の平均流下速度分布、 δ は単位時間、単位巾当り流送される体積土砂量である。吉川らは(1)式における $C(Z), U(Z)$ を求める方法において、1つの粒子の“存在確率” $F(Z)dZ$ は(2)式のように成る。また $C(Z)$ と $F(Z)$ には $C(Z) \propto F(Z)$ の関係があり(3)式が成立する。次に粒子の移動速度 $U(Z)$ に關しては本来存在位置 Z の関数であるが、高さ方向に平均した1つの粒子に着目して追跡して観測した時の長時間平均の移動速度であり \bar{U} と記す。この移動速度に關しては主にFransis²⁾及びMeland³⁾の実験結果を用い $\bar{U} = P \cdot u$ が成立しているとし(P は粒子の停止(移動)確率) u は移動しつづける粒子の流下速度である。このとき(4)式が成立する。 V_g は粒子の沈降速度であり、他の記号は通常通りである。(2)式の分散 K は(5)式の形を仮定し A, m は定数とし(3)(4)(5)式を(1)式に代入し積分すると掃流砂量 Q_B は(6)式の様に表わすことができる。ここに B は定数である。

$$Q = \int_0^h C(Z) \cdot U(Z) dZ \quad (1)$$

$$F(\bar{Z}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi K}} \exp[-(\bar{Z}-Z_0)^2/2K] + \frac{1}{\sqrt{2\pi K}} \exp[-(\bar{Z}+Z_0)^2/2K] + f(\bar{Z}) \quad (2)$$

$$C(Z) = \frac{F(\bar{Z})}{F(0)} \cdot C(0) \quad (3)$$

$$\frac{U}{V_g} = 5.8 \left(\frac{U_x - U_{xc}}{\sqrt{gd(\beta_f - 1)}} \right) \quad (4)$$

$$\frac{K}{d^2} = A \left(\frac{U_x - U_{xc}}{\sqrt{gd(\beta_f - 1)}} \right)^m \quad (5)$$

$$\frac{Q_B}{U_{xd}} = B \cdot P \cdot C(0) \cdot \left(\frac{V_g}{U_x} \right) \cdot \left(\frac{U_x - U_{xc}}{\sqrt{gd(\beta_f - 1)}} \right)^{m+1} \quad (6)$$

3. 実験及び結果 本研究では、風洞中及び静水中に直径3.78cmの球と同じ直径の半球を粗度として敷き、いくつかの比重(β_s)について転動、跳躍して進む、球の軌跡をビデオに撮り、粒子の高さ方向の濃度分布及び流れ方向の速度を求めた。

(1) 存在確率 $F(\bar{Z})d\bar{Z}$ 図-1のような方法で得られたデータより図-2に示すような $F(\bar{Z})d\bar{Z}$ のヒストグラムを得た。本実験では理論曲線を(7)式で与えた。 $F_1(\bar{Z}), F_2(\bar{Z})$ は(2)式と同様であり、 f は $F_2(\bar{Z})$ に対して $F_1(\bar{Z})$ の存在する率である。ここで Z_{01}, K_1, Z_{02}, K_2 および f を定め求めたものが図-2に示したもので比較的良く合っている。図1からも分かるように、この分布は \bar{Z} が $0.5d$ と $2d$ の近くでピークがあると思われ、これは1つの現象の結果、発現したものか、2つの異なる、2現象の組み合わせ、たものなのかどうかは、 f とともに充分に解明されていない。しかし分散 K は確率的に表わされ、それらは衝突す

$$F(\bar{Z}) = \frac{f}{1+f} F_1(\bar{Z}) + \frac{1}{1+f} F_2(\bar{Z}) \quad (7)$$

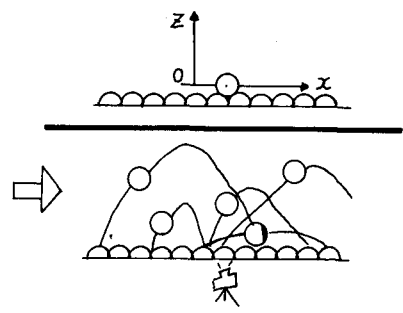


図-1 座標軸および実験方法

る時の速度に関係があると推測される。図-3は K_1 と K_2 について衝突速度との関係をプロットしたものであるが K_2 に関しては衝突速度との関係はないとみなせよう。ただし K は f とともに $C(\omega)$ を決める際の重要な因子であるのでさらに検討する予定である。

(2) 粒子の移動速度 $U(z)$ 図-4は、 X 軸および Z 軸に垂直な Y 軸と考えたとき、跳躍の Y 方向への変位が X 方向の速度におよぼす影響を見たものである。Sample 1とSample 2では、跳躍高さおよび各時間での速度と平均速度との差は、いずれも同程度であるが、 Y 方向の変位はそれぞれ $0.8d, 0.3d$ と倍以上差があり、従って Y 方向への変位が X 方向の移動速度におよぼす影響はないとみなせる。次に先に述べたように U は、 Z の関数であることが推測され、本実験でも観測できた。しかし平均粒子速度で示せば(4)式のFrancis, Melandの実験結果に良く合うことが確かめられた。

4. 流砂量式 実験結果より $F(z)$ に対して(7)式の形を用い、 $V_g = \sqrt{4/3 C_D} \cdot g \cdot d \cdot (R/\rho_s - 1)$ として(1),(3)(4)式より流砂量式は(8)式となる。

$$\frac{q_B}{U \cdot d} = B \cdot C(\omega) \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{C_D}{C_D}}\right) \cdot \frac{1}{d} \cdot \frac{(1+f) \cdot \sqrt{K_1 - K_2}}{f \sqrt{K_2} + \sqrt{K_1} \cdot \exp\left[-\frac{2d^2}{K_2}\right]} \quad (8)$$

ここで B は定数、 $C(\omega)$ は砂層の喫費率、 d は粒径、 C_D は無次元掃流力($U^2/g \cdot d \cdot (R/\rho_s - 1)$)である。

f は既応の実験データから $f = a(C_D)^n$ であると思われる。また K_1, K_2 に関しては(5)式の形を使用し従来の実験公式と対応をつけることはできるが、 f と K_1, K_2 は(1)で述べたように充分には解明されていない。また(8)式を用いると $C(\omega)$ は、このままの形では常に砂層の一層部分のみが移動するという形になっているが、実際には移動する砂層厚は、 U に關係して変化すると考えられる。

以上の問題点については、今後さらに検討を加えていく必要があり、ここでは(8)式の形のままで提示することと定める。

おわりに 本研究は、稲葉七生(日本鐵道)、本間憲之(三井造船)両君との共同研究であり、また文部省科学研究費の援助のもとで行った。

※参考文献

- (1) 吉川, 山田, 望月 "砂粒子の存在確率"と掃流工砂に関する研究"土木学会才44回年次講演会講演集
- (2) Francis, J.R.D. "Experiment on the motion of solitary grains along the bed of a water stream" Proc. Roy. Soc London A332(1932)
- (3) Meland, N. & Normann, J. "Transport velocities of single particles in bed-load motion," Geografiska Annaler, 48A (1966)

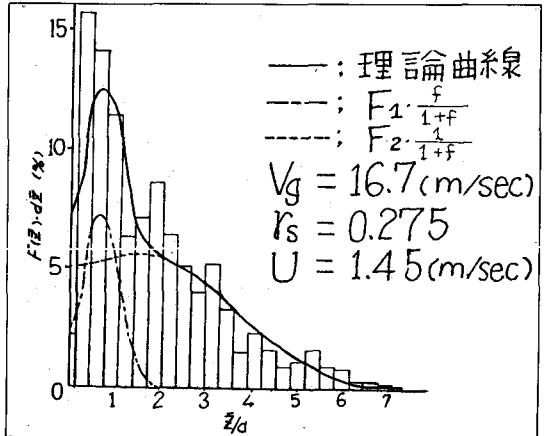


図-2 粒子の存在確率

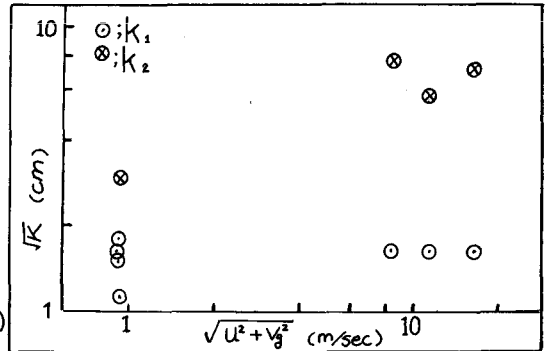


図-3 分散 K と衝突速度の關係

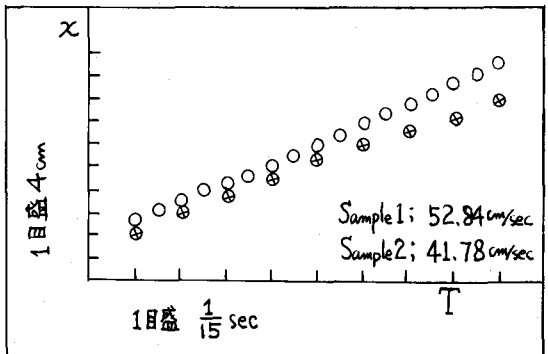


図-4 粒子の移動速度