

II-48 河床附近における砂の運動機構

北海道大学工学部 正員 工博 岸 刀

北海道大学大学院 学生員 ○ 福岡捷二

北海道大学大学院 学生員 山口忠男

M. S. Yalin は Bagnold による飛砂の研究に立脚して河床砂の Saltation を解析した。

その主な仮定は次の2点である。

(1) 砂の移動開始は砂粒に働く揚力による。

(2) 河床を離れると砂粒に働く揚力は急激に減少し流れによって水平方向速度が与えられる。

著者らは前論文[1963]において、Yalin の理論は掃流砂の量については例えば佐藤、吉川、芦田の実験結果とよく一致する事を述べた。

本論文では昨年末続いている粒子の運動軌跡の写真撮影の結果を示し、運動の如右機構を論じている。

実験装置

実験装置は長さ3m, 巾20cm, 高さ15cm のアクリル樹脂の可変勾配水路である。

静止の状態から任意の瞬間に始まる粒子運動を撮影するために電磁石によって粒子運動を調節した。砂粒子はアスファルトに鉄粉を混ぜたもので作り比重と粘性を調節した。

砂粒子軌道は蛍光塗料を塗った粒子と高照度ストロボを用いて撮影した。

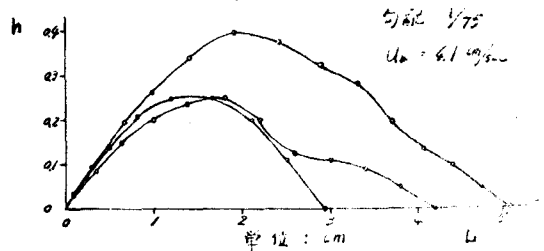
ストロボは東芝 SS-4B, SX-2B 型で発振周波数 100 ± 1 cycle である。

使用した粒子は粒径 1.87mm, 比重 1.56 の球である。河床には十分水理的に粗な領域に入るように 1.2mm の均一粒径の砂をう、カーではりつけた。

水理条件として流量 4 l/sec , 勾配 $1/50, 1/100, 1/500$ の4種類について行なった。

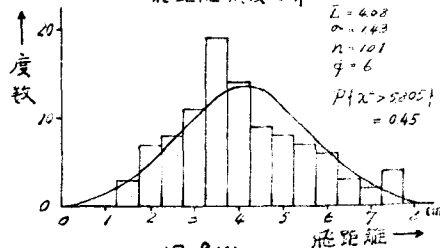
測定は上記写真撮影の他にピット管により河床セン断力の測定を行なった。

実測粒子軌道



187-1

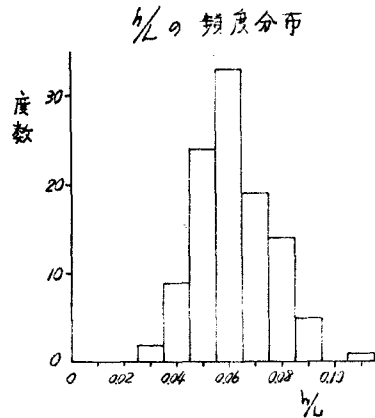
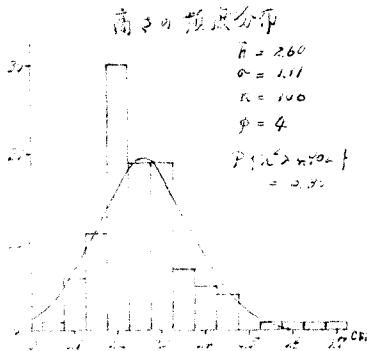
飛距離頻度分布



187-2(a)

2) 飛距離-高さ頻度分布

図-3(a)(b)は距離、高さの分布を示す。分布は χ^2 検定を行うと共に正規分布をしていゝことがわかる。この事は河床の shear の変動スペクトルが正規分布をなしていることの間接的な証明となるものであろう。また図(c)は h/L の頻度分布でこれも又正規分布を示しており両者の間に明確な関連にあることを示している。



3) 実験値と理論軌道の比較

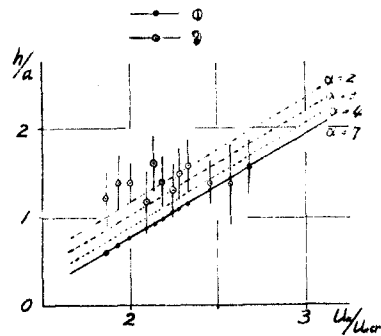
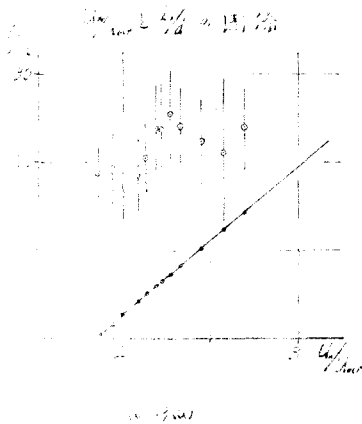
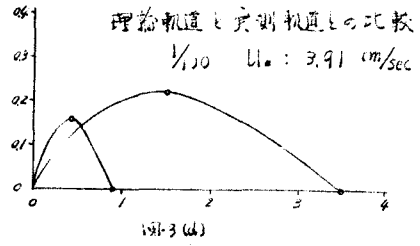
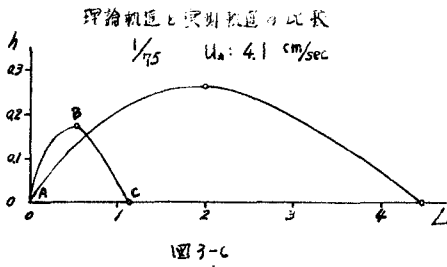


図-3(b)

図-3(a)の理論によれば河床の shear (U_*) により一義的に Saltation の飛距離-高さが決まる。図(a)(b)はそれぞれ実験の L, h の値が U^*/U_{*cr} について理論値との比較が行なわれている。①は理論値 ②は実験値を危険率 5% で求めた信頼区間と各 shear についての最確値を示している。図より明らかに理論値は実験値より小さめに出ている。

その実例として勾配 1/5, $U_* = 4.1 \text{ cm/sec}$ と 1/100 $U_* = 3.91 \text{ cm/sec}$ の場合の実験値と理論値からの比較を図-3(c)に示す。理論値の軌道は実験値のそれと大きなへだたりがある。

尚実験の軌道および信頼区間の最確値を用いて描いたものである。



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
高さ	0.04	0.12	0.26	0.32	0.43	0.63	0.69	1.53	0.51	0.73	0.73	0.68	0.61	0.55	0.45	0.35	0.25	0.15
水平速度	12	17	26	32	35	38	40	45	51	55	58	62	63	66	65	65	62	61
計算値	26.5	28.9	33.6	37.7	40.3	42.9	43.5	47.3	51.2	53.6	53.2	52.5	51.5	49.3	46.3	43.5	40.5	37.5
垂直速度	4	8	14	6	8	3	4	6	7	10	3	5	7	6	13	10	10	15
計算値	3.5	6.7	12.8	5.5	7.6	2.9	3.7	5.6	6.2	9.4	2.8	4.6	6.6	5.3	11.0	8.0	8.0	12.5
流速度	49.4	52.6	53.9	57.4	58.4	58.2	62.2	61.7	62.6	64.8	64.5	64.5	64.1	64.2	64.2	61.1	58.5	52.5

表-1

表-1は実測粒子の水平速度と理論からの計算による水平速度との比較を示している。
 と同時に同じ位置での流体速度を示す。計算の結果両方の水平流速はおおむね同じ値を示しており
 このことは流れの方向については理論値と実測値の間に大きな差はない。前述の粒子運動の差異は、
 垂直運動に問題があると思われる。換言すればy方向の飛び出し速度に実際の現象と一致しない
 点があるか、揚力の分布、或いはその両方に問題があることになる。
 x方向の水平速度の計算と同様にy方向の飛び出し速度の実測値と計算値を表-1に示す。
 実測の結果と理論値とは異なっている。
 尚計算は求めんとする位置の粒子速度とその1つ前の位置の粒子速度を用い流体速度はその両位置
 の流速の平均を用いた。
 実測値と理論値の差の大きな原因は時間・絶対値の大きさに関係がある。表-2に示されて
 いる如く理論値は実測値に比してはるかに小さい事がある。

表-2

勾配・shear	1/50 5.24		1/75 4.55		1/100 4.10	
	実測値	理論値	実測値	理論値	実測値	理論値
L cm	7.9	22.7	4.4	1.40	3.8	0.89
h cm	9.4	9.52	9.25	9.168	9.20	9.141
t _{AB} sec	0.07	0.0362	0.05	0.0300	0.05	0.0247
t _{BC} sec	0.012	0.0395	0.07	0.0218	0.06	0.0256

次に理論の揚力の分布について若干の検討を試みる。

Yalin 理論の揚力についての仮定 即ち

$$\frac{L_o}{G} = \frac{L_o}{L_{o,cr}} = \frac{f_L(X)}{f_L(X_{cr})} \cdot \frac{Y}{Y_{cr}}$$

$$\frac{L_o}{G} \approx \frac{Y}{Y_{cr}} = \frac{D_s^2}{D_{*cr}^2}$$

を正しいものとする。 $\frac{L_o}{G} = \frac{Y}{Y_{cr}} e^{-\alpha(\frac{Y}{D})}$

の α の値に問題があるように思う。

α の値を変化させて実測値と比較したものが図 3, (b) の実線である。

本実験では α の値を 3 程度にすると高さについて実測値に近くなる。

飛距離 L については高さ h が増すと水平方向の粒子速度は前述の如く増加すると思われるので L についても実験値に近い値が得るものと推定される。

文献 ; M. Selim Yalin

An Expression for bed Load Transportation

Journal of the Hydraulic Division

proc. of the A.S.C.E

May 1963