

北大工学部 学生員 山本 徹

北大工学部 正 員 森 明巨

北大工学部 正 員 岸 カ

1 はじめに 流水に伴って移動する流砂の現象は、流水のもつ流体力学的特性と流路との境界条件の不確かさ、さらに土砂の物理的特性のために非常に複雑なものとなっている。我国は地形急峻、多雨、盛んな火山活動のため河川への流送土砂は非常に多く、河川の河床変動を誘起し、大きな災害の原因となっている。このような現象の本質を究明するためには流砂の運動機構を解明することが必要である。本研究は水流による単一運動砂粒の軌跡を3次スプライン関数で近似して、砂粒に働く力について考察したものである。

実験条件は流量 $Q=14\text{ l/sec}$ 、水路勾配 $I=1/200$ 、実験時水温 12°C 、運動砂粒径 $D=0.199\text{ cm}$ 、砂粒比重 $\rho_s=1.9394$ であり河床には粒径約 0.4 cm の砂粒を一樣に貼り付けてある。軌跡の撮影はストロボ周期 50 cycle/sec で行った。(撮影は黒木(北大・工)らによる。)

2 Saltation 軌跡のスプライン関数による近似 はじめに砂粒の河床との衝突がスプライン関数にどのように反映するか調べた。図1は落下後直ちに上昇する砂粒の軌跡が図中の白丸の様に与えられたときの軌跡、上昇速度 W_d 、加速度 F_y の計算値を示したものである。図によれば衝突地点で F_y に大きなピークが生じる。図2は流下方向速度 U_d が図中に示した様に変わった場合の図1と同様な計算結果を示したものである。衝突地点で F_x

に F_y とは逆位相のピークが生じる。図3は軌跡の実測値をスプライン関数で近似したものである。ここに加速度は水中重量で無次元化している。図3において*印を付した部分は F_x 、 F_y の逆位相のピークが存在し、図1.2と同様な挙動を示している。一方☆印を付した部分は F_x 、 F_y のピークが同位相であり*印部分とは異なった運動であることを示している。☆印部分はその後軌跡の状態から浮遊に移行し、河床との衝突は

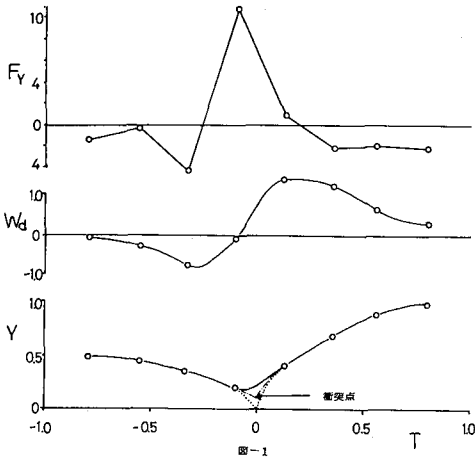


図-1

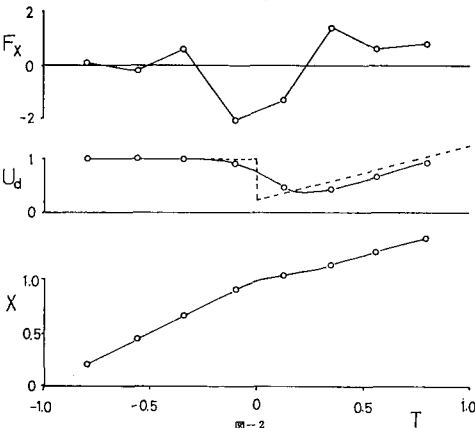


図-2

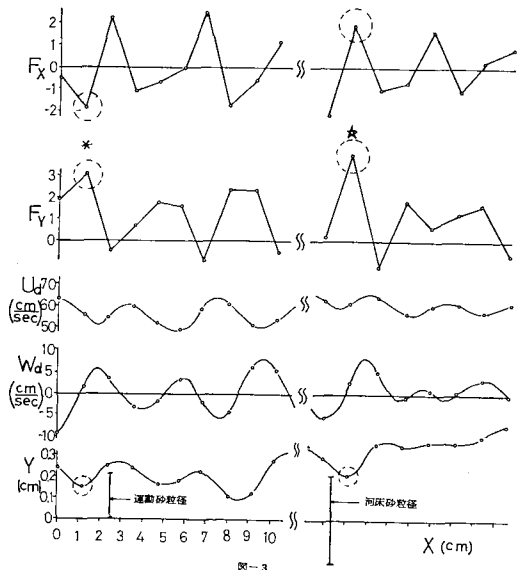


図-3

ないものと推定される。

3. 砂粒に働く力 砂粒の衝突による反発係数を以下の様に求めた。図4の様に落下砂粒Aが静止砂粒Bへ衝突するとき砂粒AのD・D'に直角な方向の運動量保存の関係は砂粒の反発係数をeとおくと

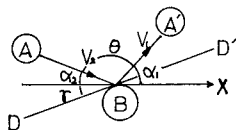


図-4

$$V_1 \sin(\alpha_1 - \gamma) = e V_2 \sin(\alpha_2 + \gamma) \quad \text{--- (1) 一方 } D-D' \text{ 方向については}$$

$$V_1 \cos(\alpha_1 - \gamma) = \frac{5}{7} V_2 \cos(\alpha_2 + \gamma) \quad \text{--- (2)}$$

(但し、砂粒の回転は無視し、衝突の途中で滑りか止まるものとする。)

式(1)(2)中の V_1, V_2 の値は図1に示したように衝突前の部分から外挿した軌跡(破線)と衝突後部分からの軌跡の交点を衝突点として求める。計算されたeを表1に示したが、表からわかる通り $e > 1$ であり、反発のみでは現象が説明できない。表中に*印を付したものは軌跡の谷で F_x, F_y が逆位相のものである。一方、☆印を付したものは F_x, F_y が同位相のものである。

次に衝突後の運動砂粒に働く力を水中重力のみとした場合の理論軌跡(3式)と実軌跡との比較を図5に示した。

$y = -\frac{1}{2} g t^2 + W_d t$ --- (3) (初速度 W_d は表1から、付加質量 $M = \frac{\pi}{6} D^3 \rho \left(\frac{\rho_s}{\rho} + \frac{1}{2} \right)$, 水中重力 $G = \frac{\pi}{6} D^3 \rho (\rho_s - 1) g$) 理論軌跡は上昇高が大きくなる様に計算されているにもかかわらず実軌跡より小さくなっており、何らかの力が砂粒に働いているといえる。そこで砂粒に働く運動方程式を以下の様に与えて砂粒に働く乱れ速度 U', W' を求める。

$$\frac{\partial U_d}{\partial t} = D \cos \delta - L \sin \delta = D \frac{U' - U_d}{g_d} - L \frac{W' - W_d}{g_d} \quad \text{--- (4)}$$

$$\frac{\partial W_d}{\partial t} = D \sin \delta + L \cos \delta = D \frac{W' - W_d}{g_d} + L \frac{U' - U_d}{g_d} \quad \text{--- (5)}$$

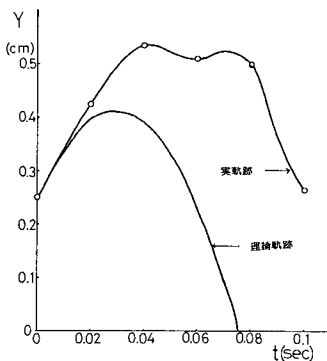
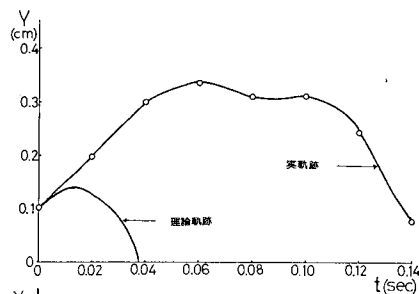


図-5

(抵抗力 $D = \frac{\rho}{2} \cdot \frac{\pi}{4} D^2 C_d g_d^2$, 揚力 $L = \frac{\rho}{2} \cdot \frac{\pi}{4} D^2 C_L g_d^2$, 相対速度 $g_d = \sqrt{(U' - U_d)^2 + (W' - W_d)^2}$, $U_x = 6.14 \text{ cm/sec}$ (流速分布から求めた))

砂粒は球形なので: $C_d = \frac{24}{Re} + 0.4$ とした。

計算結果を表2に示したが、これらの値はMoninによ、て示された $\frac{\sqrt{U_x^2}}{U_x} = 2.3$, $\frac{\sqrt{W_x^2}}{W_x} = 1.7$ と同程度であるところから乱れの成分が運動砂粒に少なからず影響を及ぼしていると推定される。

4. 結論 運動砂粒の軌跡をスライズ関数を用いて解析し、運動砂粒の河床衝突後の飛び出しは反発のみによるものではないことがわかった。反発係数eの値、理論軌跡と実軌跡のギャップ、乱れ成分速度の値から粒子は少なからず乱れ成分の影響を受けながら運動を継続していると推定される。

衝突前		衝突後		e
U_d	W_d	U_d	W_d	
71.8	-12.2	47.9	7.4	1.91 *
77.9	-10.9	49.0	9.0	2.01 *
69.4	-5.3	45.8	11.0	1.88 *
59.3	-14.3	37.0	8.6	2.10 *
72.1	-15.7	49.7	14.2	1.86 *
53.5	-8.1	50.0	4.9	1.36 *
75.8	-7.9	59.6	7.0	1.59 *
65.5	-5.2	51.5	5.7	1.59 *
69.9	-6.7	66.8	10.1	1.30 *
64.5	-9.3	51.3	10.2	1.58 *

単位 (cm/sec)

表-1

U' 平均	U' 標準偏差	$\frac{\sqrt{U_x^2}}{U_x}$	W' 平均	W' 標準偏差	$\frac{\sqrt{W_x^2}}{W_x}$
56.2	9.6	1.6	9.2	9.0	1.5
57.5	7.4	1.2	8.4	6.9	1.1
61.3	10.3	1.7	7.9	6.6	1.1
64.6	10.8	1.8	7.4	8.4	1.4
634	10.2	1.7	4.0	11.2	1.8
64.6	9.6	1.6	4.1	18.7	3.1
56.6	10.2	1.7	6.1	12.3	2.0
57.9	9.9	1.6	5.8	10.9	1.8
56.9	12.4	2.0	5.9	10.9	1.8
62.6	9.6	1.6	5.6	9.5	1.6
59.1	9.4	1.5	7.2	10.3	1.7
64.0	10.0	1.6	6.9	8.1	1.3
59.9	6.6	1.1	7.4	10.1	1.7
70.7	8.1	1.3	5.9	11.7	1.9
62.3	7.3	1.2	6.6	9.1	2.0

単位 (cm/sec)

表-2

注: C_L は乱れ成分 U_x と W_x の平均値を使用した。

参考文献 河村三郎 土砂水理学

森 明巨 「流砂試験」河床式大橋研究報告第10号、機能に関する研究