

1 まえがき

河と海の接点である河口は、二つの力のぶつかり合う場所である。海からの力と河からの力の時間変動の急激さは、河口部における種々の困難な問題を我々人間にあたえる。その一つに河口閉塞がある。河口閉塞があたえる種々の影響のうち、特に問題になるのは出水時の河口水位の上昇である。出水時の河口水位を知るには、出水時の河口部河床変動量を正確に見つめなくてはならない。砂州の崩壊は側方浸食であり、側方浸食を知るには、斜面の土砂移動特性を知らなければならぬ。それ故斜面における砂の移動方向、速度を把握し、斜面の土砂移動特性を調べる。

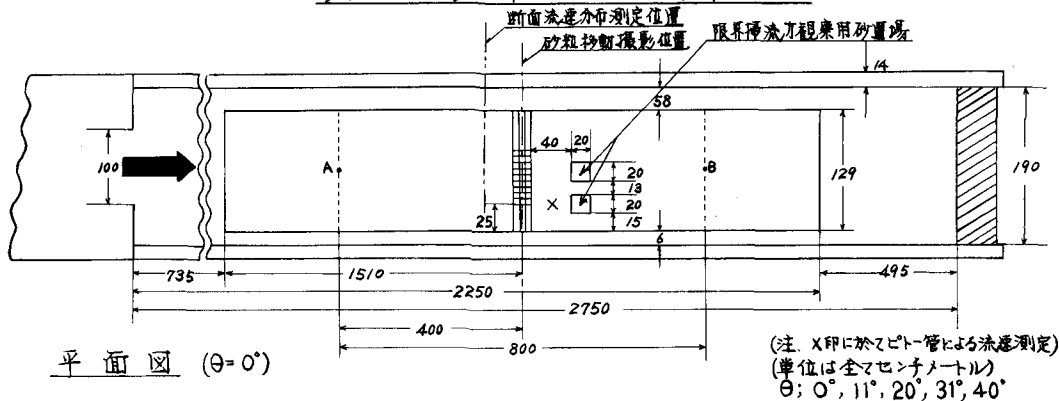
2 実験装置および実験概要

実験は幅190cmのコンクリート製水路に、図-1、図-2に示すような斜面を作り、斜面角度を 0° 、 10° 、 20° 、 30° 、 40° に変化させることができるようにした。斜面上には図-3のような粒度分布を持つ砂をニスによって均一にはりつけてある。角度が小さい場合には、水深が浅くなり過ぎるので斜面の左岸に鉛直壁をたてた。流れは斜面にだけ流れるように工夫してある。砂粒の移動を測定する位置には白ペンキで、5cm方眼が描かれている。

またその下流には斜面に20cm正方形の砂置場(凹部)を2ヶ所設け、これを砂粒で満たし、砂粒の動き出す時期を観察して限界掃流力の状態を判定する用意がしてある。水路の上流には給水量を調節するバルブと、流量を測定する矩型量水堰が設置してあり、下流には水位調節装置がある。この実験装置は、あまり大きい掃流力を出すことができなかったため、より大きい掃流力の下での実験は、巾60cm、深さ80cm、長さ21.4mの側面ガラス張り可換水路に 0° と 30° の斜面を作った行なった。

限界掃流力の測定は、はじめに小流量で水位を高くして静かに流し、しだいに流量と下流水位を調節して砂置場の砂粒が、1分間に幅10cmを30個程度通過する状態を作り、この時を限界掃流力状態と判定した。流砂の方向と砂の移動速度は着色した砂を流下させ、8mm撮影速度は36コマ/秒、撮影時間は60秒とした。また流砂撮影位置で斜面に垂直方向に流速分布を各実験ケース毎に、ピトー管で詳しく測定した。この流速分布より U_{*} を求めた。流砂の方向と速度は8mmフィルムを解折用特殊映写機にかけて、映写画面の5cm方眼を基準

図1 実験水路平面図及び断面図



長にして10cm区間を、砂粒が、その区間に入る時、出る時の横断方向の方寄りをスケールで測って角度を計算し、その間のコマ数を数えて速度を算出したコマの動きはストップウォッチ別に撮ることによって検定をした。

3 斜面上の限界まっさつ速度

斜面上の砂粒子は、斜面の効果によって水平床とは異なった限界掃流力を持つ。図-4のように流れが斜面と $\angle$ 度傾いていいる場合を考えよう。

斜面上の粒子には、流れによって流れ方向の力 F_0 、上向き F_L と粒子の重 W が働く。斜面に垂直方向の力 F_2 は

$$F_2 = W \cos \theta - F_L \quad \text{----- (1)} \quad \text{斜面に接する方向の力の合力 } F_1 \text{ は}$$

$$F_1 = \{(F_0 \cos \theta)^2 + (W \sin \theta + F_0 \sin \theta)^2\}^{1/2} \quad \text{----- (2)}$$

限界掃流力状態では $F_1/F_2 = \tan \varphi = \mu_s =$

$$(F_0^2 + W^2 \sin^2 \theta + 2 F_0 \cdot W \sin \theta \cdot \sin \theta) / (W \cos \theta - F_L) \quad \text{--- (3)}$$

ここで φ は静止まっさつ角度、 F_0 、 F_L は粒子に当る流速 U の2乗に比例するとして $F_0 = C_2 C_0 \frac{\rho}{2} U^2 \pi d^2$ 、 $F_L = C_3 \frac{\rho}{2} C_L U^2 \pi d^2$ 、限界状態では $\mu = \mu_c = \sqrt{4} \mu^* c$ とし、 $W = C_1 (\rho_s - \rho) \frac{\pi}{2} d^3 g$ (3) に代入して、 $C_1 \div C_2 \div C_3 \approx 1$ と変形すると、

$$\mu_c / \mu^* c^2 = \{ \sin \theta \cdot \sin \theta - \cos \theta C_0 U^2 + \{ \sin \theta \cdot \sin \theta + U^2 \cos^2 \theta C_0 \}^2 - (1 - U^2 C_0^2) (\sin^2 \theta - U^2 \cos^2 \theta) \}^{1/2} / \{ U_c (1 - U_c C_0) \} \quad \text{----- (4)}$$

ここで $\mu^* c$ は、 $\theta = 0$ の水平床の限界まっさつ速度である。(4) 式において $\theta = 0$ とすると

$$\mu^* c^2 / \mu^* c^2 = \{ -U^2 \cos C_0 + \{ U^2 \cos \theta C_0 \}^2 - (1 - U^2 C_0^2) (\sin \theta - U^2 \cos \theta) \}^{1/2} / \{ U_c (1 - U_c C_0) \} \quad \text{----- (5)}$$

ただし、この式は $\mu^* c > 52$ の場合に成立すると考えて良い。(5) 式と実験結果を示したのが図-5であり、静止まっさつ角度は安息角より求め 30° とし、また $C_0 C_D$ は、Chepilの実験に従って0.85として計算したものである。ばうつぎがあるが(5)式は近似式をあたえていものと思われる。

4 斜面上の砂の移動方向と移動速度の実験結果

粒子の速度、移動方向は幅10cmを通過した粒子について、速度と移動方向を求めた。したがって粒子の速度移動方向は10cm幅の平均である。また一つの摩擦速度について50〜100個の石を観測している。図-6には $\theta = 30^\circ$ $\mu^* = 5.91 \text{ cm/sec}$ の場合の粒子の速度分布を示した。

同一摩擦速度でも個々の粒子の速度は非常にばうつくが、ほぼ正規分布に近い分布形である。このようにばうつくものの平均の粒子速度、平均移動方向と μ^* の関係を示したのが図-7、図-8である。図-7によると流れ方向の速度 U_x は摩擦速度の増加につれて $\mu^* > 5.5 \text{ cm/sec}$ 以上では $\theta = 30^\circ$ 、 $\theta = 0$ ともほぼ直線的に増加している。また $\theta = 30^\circ$ の方、同一摩擦速度に対して U_x が速い。流れに直角方向の速度成分 U_y は摩擦速度にあまり関係

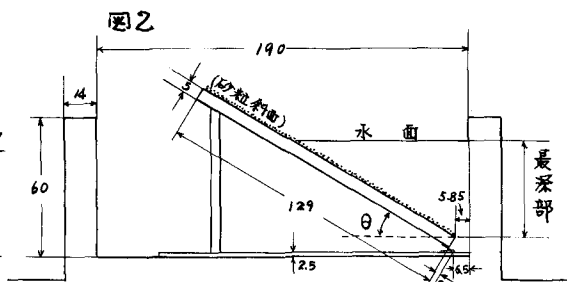


図3 実験砂粒径加積曲線

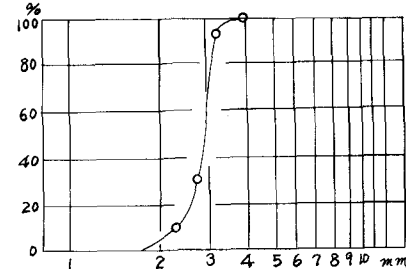


図4 砂粒に働く力

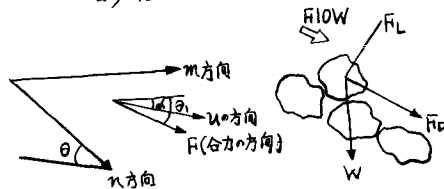
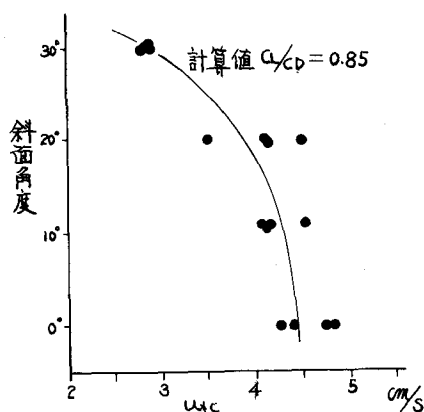


図5 U_{sc} v.s θ



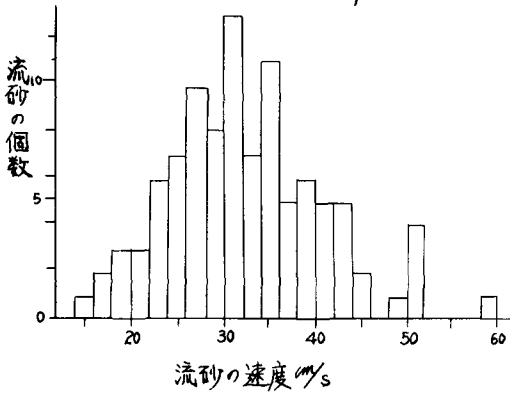
せず、斜面角度 θ が増すにつれて U_{*c} は小さくなる。図-8を見ると、流砂の移動方向 δ は、斜面角度と摩擦速度に影響され、 θ の大きいほど、摩擦速度の小さいほど δ は小さくなる。

ところで10mm幅を通過する粒子の速度と移動速度の平均値より求めた速度と移動方向は、粒子の平均的な移動特性を表現しているのだろうか。 $U_* > 5.5$ では、ほとんどの移動粒子は10mm幅内を止ることなく通過し、観測粒子数を多くすれば平均的な粒子移動特性を求めることができると考えられるが、 5.5 以下では移動粒子は10mm幅内で止まってしまうものが多くなる。つまり速い速度の粒子だけを計った恐れがある。それを確かめるために1ケースだけ流入点を通過する移動粒子をランダムに選んで10mm幅内に止まった粒子は、流入点と止まった位置より速度を求めてみた。その結果が図-7の○印で10mm幅を通過する粒子のみ求めた速度より小さくなっている。この後の方法の方が粒子の平均的な速度を表わしているものと考えられ、 $U_* < 5.5$ については再整理を行なっている。

5 斜面上の砂の移動特性の理論的検討の方向

砂粒子の移動形態は、rollingやSaltationなどの種々の異なる移動機構を持つ運動の混合形態であり、流れの乱れ、移動粒子の不均一性等は、流砂の移動を、乱れたものにし、その移動現象の解明には統計的考え方を採用しなければならぬと思われるが、粒子の平均的な動きを、粒子に働く力を考えて、決定論的な方法によって求めて実験値と比較しまた資料を再整理し次回に報告したい。

図6 粒砂の速度分布



参考文献

W. S. Chapin; The use of evenly spaced hemispheres
to evaluate aerodynamic forces on a soil surface
Transaction American Geophysical Union
Vol 39 No 3

図7 粒子の速度と U_*

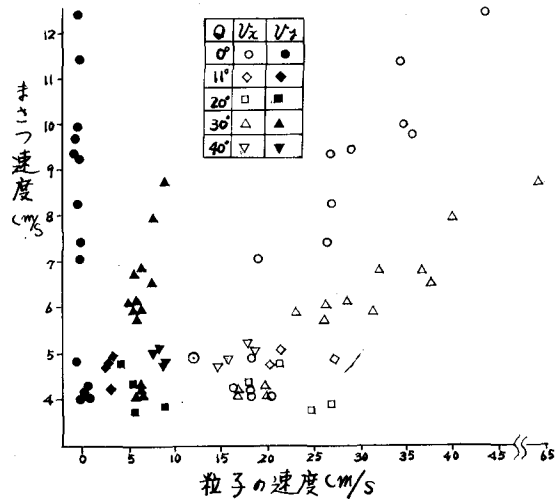


図8 斜面の移動方向と U_*

