

早稲田大学 大学院 学生員 大貫 博史

早稲田大学 理工学部 正員 吉川 秀夫

1. はじめに

平坦河床上に河床波が発生するのは、なんらかの理由により河床上に生じた微小振幅の凹凸が自励的、自己増幅的に成長すると考えられる。これは微小振幅河床波の変形と河床上の底質の輸送量分布、したがって河床上のせん断応力分布との間に位相差が生じるためと説明される。前報⁽¹⁾では、波状河床上の開水路流れに関して、せん断抵抗と形状抵抗の特性を水面形により分類をした。本研究は、2次元で河床波上の粒子の重力成分を考慮したせん断抵抗特性と、移動粒子の運動について実験的な考察を加えたものである。

2. 実験装置、実験方法

使用実験水路は、幅15cm、全長5mの開水路である。

河床波は、図1に示す規則的な正弦波形であり、波長 λ は50cm、振幅 a は2.5cmである。又、検査区間の波面には波長方向2.5cmおきに圧力孔を設けてある。

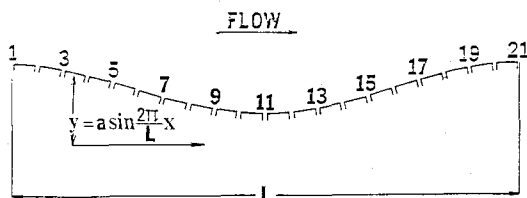


図1 河床波の模形図

実験方法としては、平均河床勾配1/23、流量 Q を74ccでシュート&プールと射流の水面形で、これをCase 1, 2とし、平均河床勾配1/43、流量 Q を5.7 l/secで常流の水

面形で、これをCase 3とする。流速の測定にはピトー管を使用し、底面せん断応力はプレストンの手法に習い内外径比0.6のピトー管を底面に密着させて測定をした。又、Case 1, 2については、直径5mm、比重8.46の真ちゅう玉と、直径1mm、比重7.82のパチンコ玉を波面上をころがし、それをビデオ撮影して粒子の移動速度を測定した。

3. 実験結果と考察

1). 有効せん断応力分布

河床波上の粒子に有効に働くせん断応力⁽²⁾を、粒子の重力成分を考慮して定めてみる。なお、Case 1, 2の流れは、流線の曲がりを生じているが浮力の作用方向は定めることが難しいのでここでは考えない。有効せん断応力 τ_e を次のように定める。

$$\tau_e = \tau_b + \tau_g \quad (1)$$

τ_b は実験により定めた底面せん断応力で、 τ_g は粒子の重力成分で、球形粒子の場合、

$$\tau_g = (\pi d/6) \cdot \rho_w \cdot (\sigma_s - 1) \cdot g \cdot \sin \theta \quad (2)$$

d : 粒径 ρ_w : 水の密度 σ_s : 粒子比重 θ : 河床勾配

となる。又、限界掃流力 τ_c は、

$$\tau_c = 0.05 \cdot \rho_w \cdot (\sigma_s - 1) \cdot g \cdot d \cdot \cos \theta \quad (3)$$

と表わされ、ここで $\cos \theta \approx 1$ であり、 τ_g の変化に較べれば粒径によりほぼ一定値とみなせる。 $\sigma_s = 2.65$ とし粒径 d を変えて(1), (2)式より求めた有効せん断応力分布 Case 1を図2に、Case 2を図3に、Case 3を図4に示す。

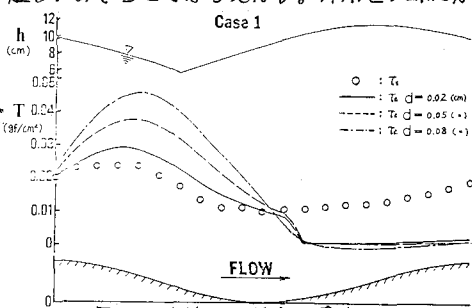


図2 有効せん断応力分布

Case 1 での底面せん断応力分布は河床波に対してせん断応力のピークが下流側へ 54° の位相差があるため、重力成分を加えると粒径によらず、その分布形を増幅することになる。このことにより、河床波の下り部分では粒子が非常に離脱可能となり、河床波が上流側へ進行するものと思われる。

Case 2 では、底面せん断応力分布が Case 1 と異なり、上流側へ 126° 位相しているため、有効せん断応力分布は粒径により異なる。粒径が小さいと重力成分が小さいため底面せん断応力の分布形を維持するが、粒径が増していくと、有効せん断応力の分布形は河床波の下り部分でピークが現われてくるようになる。従来反砂堆の進行方向は水流と砂れきの特性に応じて、上流側へ移動、下流側へ移動および移動しないの3通りがある。粒径による有効せん断応力の分布形の違いと、各粒径に対する限界掃流力とが反砂堆の進行方向の多様性を生み出していると思われる。

Case 3 では、底面せん断応力の分布形は河床波に対して上流側へ 9° 位相しているが、Case 2 に較べ底面せん断応力が非常に小さいので、粒子の重力成分 T_g を加えると、河床波の下り部分が移動しやすい状態となり上流側へ進行すると思われる。

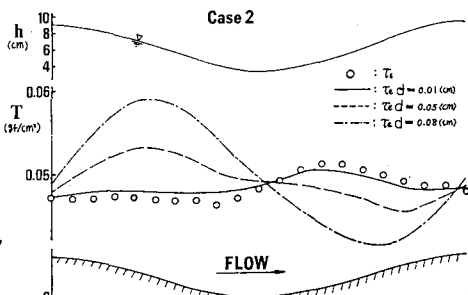


図3 有効せん断応力分布

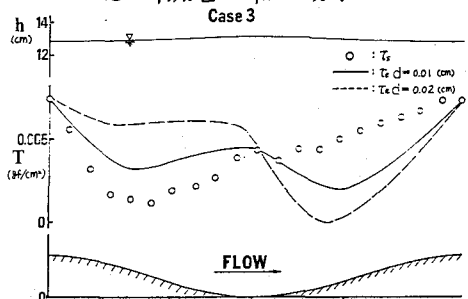


図4 有効せん断応力分布

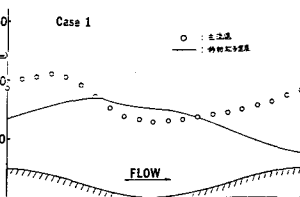


図5 粒子速度(しちゅう玉)

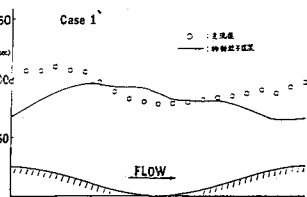


図6 粒子速度(ハチノ玉)

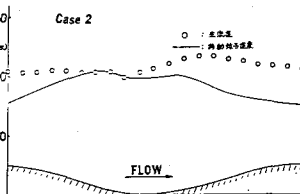


図7 粒子速度(しちゅう玉)

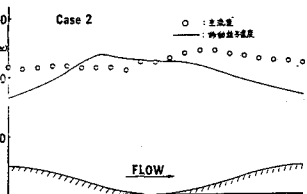


図8 粒子速度(ハチノ玉)

2). 移動粒子速度

河床上をところがる粒子の河床波の接線方向の移動速度、流体の主流速の分布の測定結果を、Case 1 は図5,6に、Case 2 は図7,8に真ちゅう玉とパチンコ玉について示す。

どのケースも、河床を下る部分で重力により加速され、Case 2 のパチンコ玉以外は粒子移動速度が主流速をこえるあたりで、河床波の下り部分であるのに抗力により減速が始まる。

4. おわりに

有効せん断応力により、河床材量の粒径により各水面形により粒子の移動しやすい場所がわかった。しかし、任意の流量、平均河床勾配による実測の底面せん断応力をもとにしているため、粒子の移動開始については定量的には成果をあげていない。又、移動を開始した粒子の運動特性についても定量的にも不十分な結果しか得られなかった。今後、底面せん断応力の算定法、移動粒子の運動特性について定量的に把握していきたい。

5. 参考文献

- (1). 大貫, 森田, 吉川; “河床波上の流れについて” 第28回 水理講演会論文集, 1984
- (2). 片山, 福井, 吉川; “段落ち部近傍の底面せん断力” 土木学会論文報告集 第342号 1984