

北海道大学大学院 学生員○亀田 祐二
 北海道大学 正員 長谷川和義
 北海道開発局 正員 渡邊康玄
 北海道開発局 正員 金高州吾

1. はじめに

広い粒度分布からなる大型の水路実験において、動的に平衡する直線状の斜面が見いだされた¹⁾。この部分の表層粒度分布は、原河床のものとはかなり異なっており、時間の経過とともに場所によらず中膨らみの形状を呈して定常状態に至っている。

本論文は、上述のような河床表層粒度分布の実測結果の特徴を明かするとともに、水平床で成立するParker²⁾の平衡粒度分布の定常解を斜面に適用して、理論的な説明を試みたものである。

2. 表層粒度分布の実測値

実験は文献¹⁾に載せたものと同一である。表層粒度の採取は、水路上流端から27mの位置で図-1に示されているように計8測点で行った。流れは等流状態に近く流下方向に対する現象変化はほとんど見あたらない。河床材料は層厚5cm程度採取し、なるべく交換層のみを採取するよう注意を払った。採取時間は、横断面測定と同様に、通水開始から50分、140分、300分後の計3回としている。

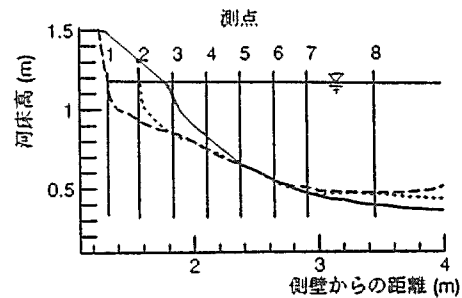


図-1 粒度分布採取地点および横断面形状の時間変化

図-2~5は、それぞれ動的平衡斜面部分の表層粒度分布の時間変化を示したものである。これらの図から、通水開始後140分以降、この斜面部分で場所によらず粗粒化が生じていること、さらに粒径1mm程度の粒子の抜け出しが大きく中膨らみの粒度分布形状を呈していることがわかる。ただし、図-2に示すように斜面上の測点3では、定常に至る時間が長く、通水開始後140分以降に斜面形状が平衡し始めてから後に粒度分布の平衡が生じている。

3. Parkerの定常解の斜面への適用

Pakerは、礫床河川の河床が動的平衡状態にある時、原河床の粒度構成と流砂中のそれとが一致するという等移動性の仮定と、粒径別流砂量が $\phi_m = \tau_{*m} / \tau_{*ri}$ および、 $\delta_i = d_i / d_m$ のみの関数になるという仮定を用いて表層粒度の理論式を導いている。動的平衡斜面にこの理論を適用し得る条件としては、河床高の変わらない直線斜面、供給土砂（天端崩壊土砂）と原河床との粒度分布の一致および限界掃流状態に近い流れ等があり、今回の浸食実験でも成立している可能性がある。

Parkerは、水平床における粒径別流砂量式を以下のように与えている。

$$\frac{W_i^*}{W_r^*} = G_s \left[\frac{\tau_{*i}}{\tau_{*ri}} \right] = G_s [g_s(\delta_i) \phi_m] \quad \dots(1)$$

$$W_i^* = \frac{S g Q_b P_i}{u_{*i}^3 F_i} ; g_s(\delta_i) = \frac{u_{*rm}^2}{u_{*ri}^2} ; \phi_m = \frac{\tau_{*m}}{\tau_{*i}}$$

ここに、 W_i^* = 表層粒度を基準にした無次元流砂量、 W_r^* = 基準無次元流砂量（限界掃流力に近い状態の流砂量）、 G_s = 相似掃流砂関数、 $g_s = u_{*rm}^2 / u_{*ri}^2$ = 表層粒度における遮蔽係数で δ_i の関数、 τ_{*i} = 粒径 d_i に対する無次元掃流力、 τ_{*ri} = 粒径 d_i に対する基準無次元掃流力、 τ_{*m} = 表層の平均粒径 d_m に対する無次元掃流力、 u_{*rm} = 表層の平均粒径 d_m に対する基準摩擦速度、 u_{*ri} = 粒径 d_i に対する基準摩擦速度。

流れが限界掃流力状態に近いとき、すなわち $g_s \phi_m < 1$ のとき G_s は(2)式のように表される。また、 g_s に対してParkerは、 $g_s = \delta_i^{-m}$ を与えているが、Egiazaroff式が成り立つ場合には、式(3)のようになる。

$$G_s = (g_s \phi_m)^{0.0} \quad \dots(2) \quad g_s = \left[\frac{1.0 \log(19 \delta_i)}{1.0 \log(19)} \right]^2 \frac{1}{\delta_i} \quad \dots(3)$$

次に、動的平衡に達しさらに流砂量中の粒径分布が原河床のものと一致 ($p_i = f_i$) するとして掃流力の小さい場所では式(2)が成り立つので、

$$F_i = \frac{f_i / g_s(\delta_i)^{M_0}}{\sum f_i / g_s(\delta_i)^{M_0}} \quad \dots(4)$$

となる。これに式(3)を代入すると、限界掃流力時に近いときの動的平衡表層粒度が以下のように与えられる。

$$F_i = \frac{f_i \left\{ \frac{\log(19)}{\log(19\delta_i)} \right\}^{2M_0} \delta_i^{M_0}}{\sum f_i \left\{ \frac{\log(19)}{\log(19\delta_i)} \right\}^{2M_0} \delta_i^{M_0}} \quad \dots(5)$$

図-6は、動的平衡斜面部分の表層の粒径別体積割合(○、●印など)と、式(5)とを比較したものである。式(5)の計算にあたってはd mの値が一定になるまで繰り返して行う。図中の実線は、実測のf iを与えたものであり、また破線はf i=const.としたものである。M0には0.5という値が最も実測値との適合性が良かった。この図から、実測値と計算値とは良くあっているが、特異点(δ i=1/19)では計算値がかなり大きめにでている。また、これよりも小さい値でも良く一致を示していることも興味深い。以上の結果は、Pakerの理論が、重力効果の卓越する水中安息角に近い斜面上の現象についてもある程度あてはまることを示すものである。

4. おわりに

動的平衡斜面の表層粒度分布を実測することにより、表層の粗粒化の進行、および中膨らみの定常粒度分布形状への接近が確認できた。またその斜面は重力効果の卓越する場であり、Parkerの平衡粒度分布の理論によりある程度の説明づけが行えることがわかった。このことは、著者らが行った実験が広い粒度分布をもつ大型実験水路を用いていること、すなわち十分な分級が行われるような斜面長をもつことに依っているものと言える。今後は、河床の分級過程を解明して粗粒化にともなう遮蔽効果等を更に検討を加えていく方針である。

5. 参考文献

- 1) 竹本・渡邊・長谷川・亀田：火山灰水路の側岸浸食過程に関する研究、平成3年度土木学会北海道支部論文報告集、第48号、pp. 445~448.
- 2) Parker, G: 粗粒化について、土木学会論文集、第375号、pp. 17~27.

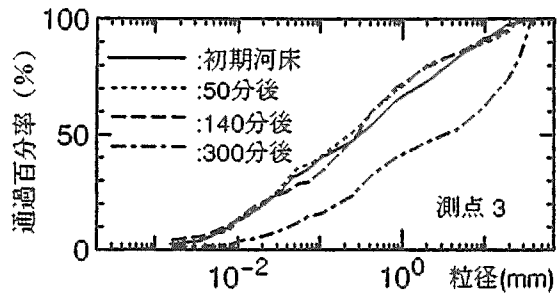


図-2 測点3の粒度分布の時間変化

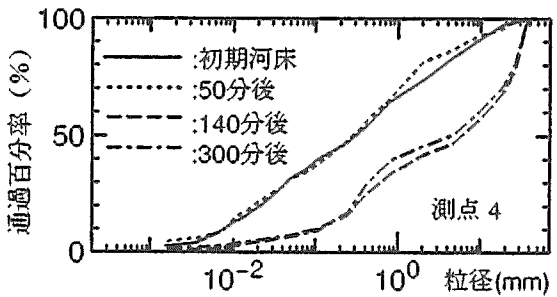


図-3 測点4の粒度分布の時間変化

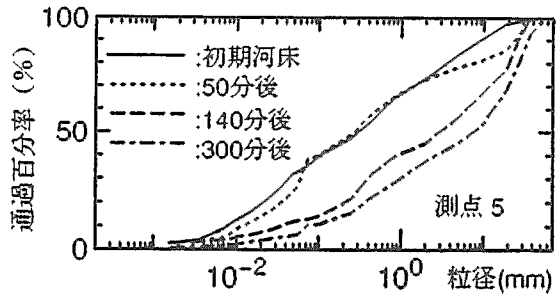


図-4 測点5の粒度分布の時間変化

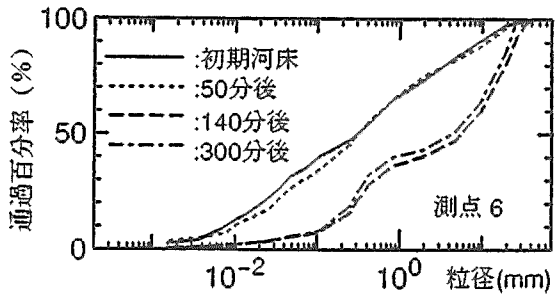


図-5 測点6の粒度分布の時間変化

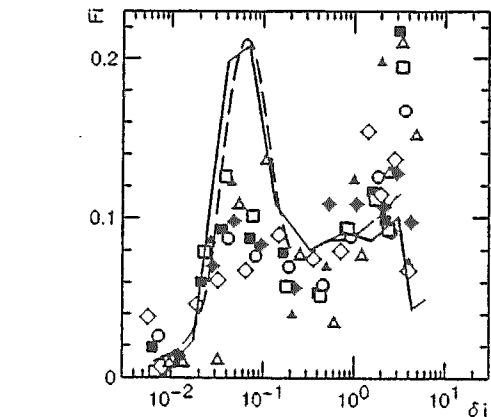


図-6 F_iとδ_iとの関係