

移動床上の三次元乱流構造と 土砂輸送に関する研究

京都大学工学部 正 員 中川 博次 京都大学工学部 正 員 福津 家久
京都大学大学院 学生員 ○光成 政和

1. まえがき 河川において現れる縦筋と流れの三次元構造を解明するために、従来、固定床に、粗度を人工的につけて、さまざまな実験が行なわれてきた。¹⁾ ここでは、実験水路にケイ砂を敷き、流量および勾配を系統的に変え、移動床上における縦筋形成の水力条件をまず検討する。次にレーザー流速計および超音波式河床形状測定器を用いて発達した、縦筋河床形状と流速分布特性を計測し両者の相互作用を考察する。

2. 縦筋形成の水力条件を求める実験 実験水路は、全長8m、幅30cmのアクリル製勾配可変型水路で、ケイ砂4号（粒径0.068mm）を、厚さ5cmに敷きつめ水路の上下流端に遷移区間を設け、流量および勾配を、系統的に変化させ、47ケースの実験を行った。結果は図1に示すとうりである。これによると、本実験で得られた縦筋は、Garde, Rajuの実験曲線に、うまく適合し、砂漣、砂堆に至るまでの移動限界領域の砂漣、砂堆に近い部分に集中していることがわかる。縦筋形成時には、摩擦速度 $U_* = \sqrt{gh\tau}$ が、1.9 ~ 2.4 付近にあり、これより大きな摩擦速度では河床波が出現した。本実験は、均一粒径で、非常に穏やかな流れの中で行われたが、今回の縦筋が実河川の洪水時において出現する縦筋と同種のものであるかどうかは、さらに検討を要する。図2に縦筋の本数と水路幅/水深比（ $B/2h$ ）の関係を示す。これによると、両者は、正比例の関係にあり、従来の研究どうり『縦筋は、水深の約2倍間隔に出現する』ということが²⁾本実験でも確かめられた。本実験の結果をまとめると、砂の移動限界から、摩擦速度がある程度大きくなると、水深の約2倍間隔で縦筋が、形成されることがわかった。

3. 流速分布特性と河床形状の相互作用に関する考察 縦筋が充分発達したと思われる状態で水路上流側から5.2mの位置に二成分レーザー流速計を設置し、側壁から水路中央までを、高さ方向に8点、横断方向に20点の合計160点計測を行い、流れ（縦渦）と縦筋との関係を実験的に解明しようとした。また、レーザー計測断面をはさむ上下流方向に、2.5cmきざみで50cm区間の河床形状を立体的に計測した。流速分布特性を図3に示す。これによると、側壁に近い部分で縦渦が明瞭に出現し中央に向うほど、渦がつぶれて形状が判別しにくくなることがわかる。 $Z/H = 1.3$ のあたりで、下降流が見られ、 $Z/H = 2$ のあたりで上昇流が見られ、縦渦対を描いている。本計測では、二成分レーザー流速計を使い、 U （流下方向）、 V （鉛直方向）を測定し、 W （水路横断方向）は、次の連続式から求めた。

$$W = - \int_0^Z \frac{\partial V}{\partial y} dz$$

河床形状を図4に示す。これによると、縦筋らしき河床の凹凸が流下方向にほぼ同じ形で保存されているのがわかり、この自己相関解析から縦筋間隔は水深の二倍と判明した。

図5は流速分布特性と、レーザー計測位置での河床形状を、示したものでありZ軸を合わせている。図6は流砂量と摩擦速度 U_* および対数則に載るための鉛直方向の補正量 ΔY を示したものである。図5および図6より、 $Z/h=1,3$ のあたりでは、下降流が卓越し、摩擦速度が大きくなり、河床が洗掘され凹部となり、 $Z/h=2$ などの上昇流の卓越する位置では、摩擦速度が小さくなり、河床は凸部となることがわかる。合わせて図6の ΔY より下降流の生じる所では、河床が凹となり大きめの補正量 ΔY が必要で、上昇流の生じる所では、反対に凸となり、小さめの ΔY で充分であり、実際の河床高の計測結果とよく一致する。図6の流砂量は、水路下流端で採砂したものであるから、これが河床形状や摩擦速度に鋭敏に対応しているとは、即断できない。しかし、横断方向に流砂量の変動が、あること、また水路中央で、流砂量が大きくなることがわかる。

4. あとがき 本研究では、移動床上で縦渦、縦筋の存在が確認された。断面内で下降流の卓越する所では、摩擦速度が大きくなり河床の洗掘が進み、河床が凹となる。一方、上昇流の卓越する所では、これと反対となる。縦筋は横断方向に水深の約2倍間隔で生じる、ことなどがわかった。

参考文献 1) Nezu, Nakagawa (1984), A S C E, J. Hyr. Eng. pp173-193

2) 木下 良作 (1967), 写真測量, Vol6 pp1-10

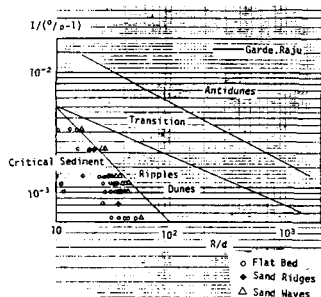


図1 発生領域区分図

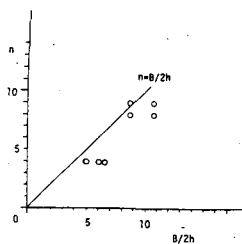


図2 縦筋の本数と水路幅／水深比の関係

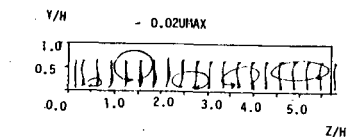


図3 流速分布特性 (V-w ベクトル図)

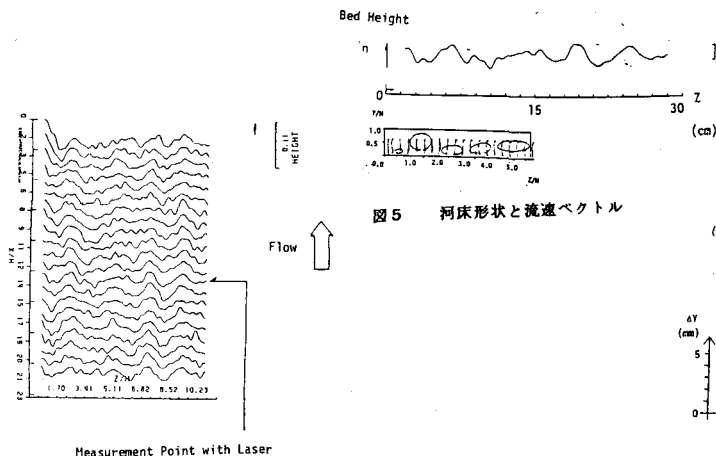


図4 河床形状

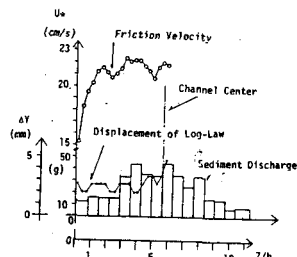


図6 流砂量と U_* と ΔY のプロット