

京都大学防災研究所	正員	大年 邦雄
京都大学防災研究所	正員	今本 博健
京都大学大学院	学生員	西園 恵次

1. はじめに

レイノルズ数が十分大きな開水路流れには水深程度の規模の縦渦が形成されており¹⁾、流れに浮遊砂が含まれる場合、この縦渦の作用により、湧昇部周囲の浮遊砂は縦筋 (longitudinal sand streaks) として観察される。この縦筋は、Kline²⁾による低速縞 (low speed streaks) に相当するものであると考えられるが、乱流構造あるいは流砂機構との関連においてこの縦筋を論じた研究は少なく、物理的に重要な意味を持っているにも拘らず、その特性はあまり知られていないようである。

本研究は、上述の縦筋を乱流構造および流砂機構との関連に基づいて理解することを目的とし、まず縦筋そのものの特性を実験的に検討したものである。実験では、水面上に設置されたカメラより、1秒間隔で40秒間、縦筋が連続撮影されている (1ケースの撮影枚数 $N=40$)。

2. 実験結果および検討

写真-1は、浮遊砂流において撮影された縦筋の一例を示したものであって、流下方向にほぼ平行な連続した白い線として観察される。このような縦筋は、図-1の模式図に示されるような縦渦の作用により、その湧昇部に砂粒子が集められることによって形成されるものと考えられる。したがって、縦筋の形成された領域は周囲よりも浮遊砂濃度が大きいはずである。このことを検証したのが図-2であって、図-1に示された縦渦の湧昇部および下降部に相当する測線上の鉛直方向浮遊砂濃度分布が示されている。図より、半水深以上では両測線上の浮遊砂濃度はほぼ同一であるが、路床に近づくとともに湧昇部での濃度が下降部のそれよりも大きくなっていることがわかる。村本³⁾は、縦筋の位置における流砂量はそれ以外の位置の数10倍になる場合もあることを示しており、縦筋の形成される流れでは、流砂量が縦筋の部分に集中することが大きな特徴といえる。

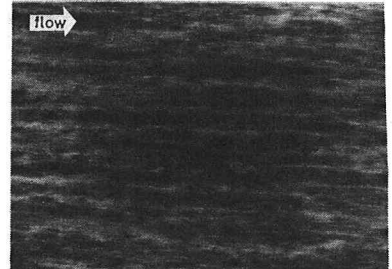


写真-1 縦筋の観測例

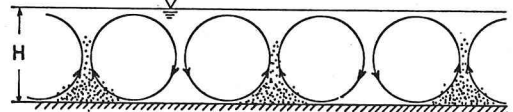


図-1 縦渦の模式図

図-3および4は、それぞれ、滑面および粗面上の浮遊砂流において観察された縦筋中心位置の生起確率を示したものである。すなわち、水路幅を100等分し (分割幅 $\Delta R=0.9\text{cm}$)、

それぞれの分割区間に縦筋中心が含まれる写真の枚数 m を求め、 $\eta = m/40$ を横断位置に対して示したものである。図-3(a), (b)は、それぞれ、低濃度および高濃度の滑面流れにおけるものであるが、 η の分布は図-4の粗面流れのものに比しかなり一様であり、縦筋の位置は不安定であることを示している。実際、目視観察においても、滑面上の縦筋はふらついたものであった。しかし、高濃度の場合には、 η の分布にある程度等間隔にみえらるピークが生じ、低濃度時よりも縦筋の位置は安定していることがわかる。このことより、滑面流れでは、縦渦が縦筋を形成し、その

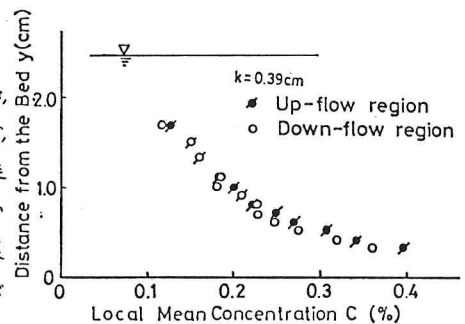


図-2 湧昇部と下降部における浮遊砂濃度分布の比較

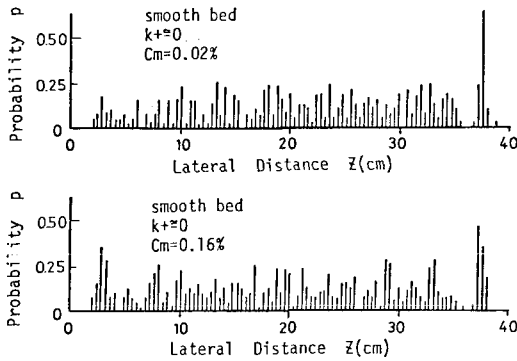


図-3 縦筋中心の生起確率(滑面)

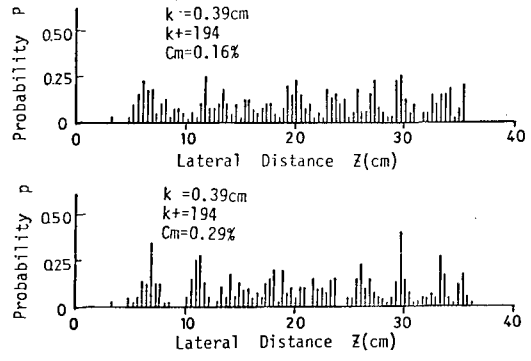


図-4 縦筋中心の生起確率(粗面)

その縦筋が縦渦を安定化させようとする相互作用の内在することが確認される。図-4に示された粗面流れでは、両濃度のものとも λ の分布に明瞭なピークが認められ、縦筋は滑面流れのものよりかなり安定している。このことは、路床粗度の増大とともにバーストが顕著になるというGrass⁴⁾の検討結果に対応しており、興味深い現象といえよう。また、濃度差による λ 分布の差異は顕著ではなく明確な傾向は見出せないが、低濃度の場合の方がピークが明瞭であるようにも見える。これは路床近傍の浮遊砂によって粗度が緩和され、滑面化の傾向を帯びたためであるとも考えられるが、詳細については今後検討しなければならない。

図-5および6は、隣接する縦筋間隔 λ の確率分布を示したものである。なお、図中に示された実線および破線は計測値に、それぞれ、対数正規分布および正規分布を当てはめたものであって、計測値は次表で表される対数正規分布に極めて良く一致している。

$$P(\lambda) = \frac{\log e}{\lambda \sqrt{2\pi} \sigma} \exp \left\{ -\frac{(\log \lambda - m)^2}{2\sigma^2} \right\} \quad (1)$$

ここに、 m および σ はそれぞれ $\log \lambda$ に関する平均および標準偏差である。

対数正規分布は、バーストおよびボイルの周期ばかりでなく⁵⁾、低濃度の間隔の確率分布にも良い適合性を示す⁶⁾ことが知られており、低濃度と縦筋との対応性を十分示している。

図-7は、種々の水理条件下において計測された縦筋の平均間隔 $\bar{\lambda}$ と水深 H との関係を示したものである。図より、 $\bar{\lambda}$ と H とは

$$\bar{\lambda} = 1.43 H \quad (2)$$

の関係が見出され、必ずしも $\bar{\lambda} = 2H$ とはならないことがわかる。

3. おわりに

以上のように、縦筋の基本的な特性はかなり明らかにされたが、路床の粗滑による差異および浮遊砂が縦渦に及ぼす作用など不明の点も残されている。これらについては今後の課題にしたいと考えている。

参考文献

- 1) 木下良作：水工学シリーズ，78-A-7，1972P.
- 2) Kline S：Jour. Fluid Mech., Vol. 30, pp. 741~773, 1967.
- 3) 布村明彦，村本嘉雄，河田恵昭：土木学会年講，II-219，1977.
- 4) Grass, A.J.：Jour. Fluid Mech., Vol. 50, pp. 233~255, 1971.
- 5) Jackson, R.G.：Jour. Fluid Mech., Vol. 77, pp. 531~560, 1976.
- 6) 祓津家久，中川博次：土木学会年講，II-147，1977.

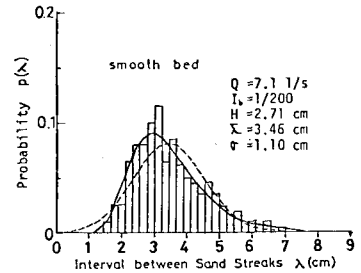


図-5 縦筋間隔のヒストグラム(滑面)

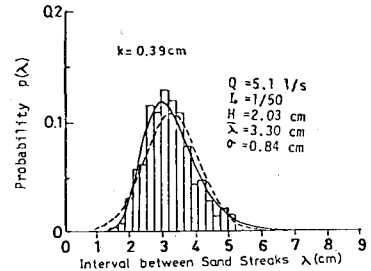


図-6 縦筋間隔のヒストグラム(粗面)

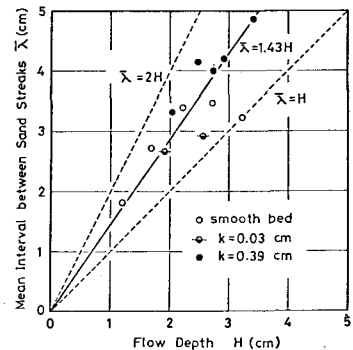


図-7 平均縦筋間隔と水深との関係