

側壁粗度が与える隅角部二次流および河床形状への影響について

九州大学工学部 学生員○松尾 誠
 九州大学工学部 正 員 大本照憲
 九州大学大学院 学生員 天野光歩
 九州大学工学部 正 員 平野宗夫

1. はじめに

近年、都市における河川空間は、人々に生活の安らぎや潤いを与える場として注目を集め、親水性や景観を配慮した都市河川空間の整備を望む社会的要請が高い。そのため、従来の治水または利水機能にのみ重点を置いた三面張り垂直護岸に変わって、現在では親水機能が強調された環境護岸と称される階段護岸や緩勾配護岸、あるいは魚巢ブロック等が都市を中心に増えつつある。しかし、護岸の形態が河床形状、土砂輸送形態および乱流構造に及ぼす影響を与えるかについて十分検討された研究は少ない。護岸の破壊につながる主な原因として、基礎の洗掘が挙げられるが、これは側壁粗度の影響によって発生するコーナー二次流が密接に関与していると考えられる。本研究では、環境護岸の治水機能評価を行う上での基礎的知見である、側壁付近の二次流および河床形状に与える影響について検討するため、固定床実験および移動床実験が実施され、その結果について考察が行われた。

2. 実験装置および方法

実験に使用した水路は、長さ10m、幅30cm、高さ30cmの亚克力樹脂製の可変勾配水路である。固定床実験では、前報¹⁾に示された模擬縦筋河床上において、表-1の水理条件下で側壁近傍の流速変動が計測された。センサーには、熱線流速計システムにx型エンドフロー・プローブを使用し、流速の主流方向成分と鉛直方向成分の同時計測および主流方向成分と横断方向成分の同時計測が同一地点で行われた。計測結果は、サンプリング周波数150HzでAD変換した後、一測点4096個のデータに関して統計処理を施した。移動床実験では、河床材料として中央粒径 $d_{50}=0.57(\text{mm})/0.94(\text{mm})/1.9(\text{mm})$ および $2.85(\text{mm})$ のほぼ均一に近い4種類の珪砂を用いた。側壁には中央粒径 $d_{50}=5(\text{mm})$ のガラスビーズを張り付けて粗度とし、河床には、珪砂を厚さ3cmで一様に敷きならし、所定の水理条件に設定した後に通水し、超音波測深器を用いて定期的に河床高さを測定した。なお、座標系および記号の説明を図-1に示す。

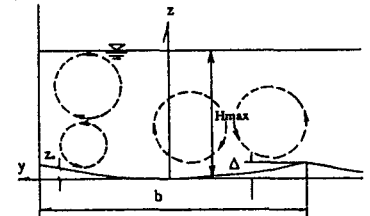
3. 実験結果およびその考察

(1)主流速：図-2は主流速の等値線を示す。横断方向の座標 y/b が-1.0および1は、各々、Sand Ridge, Sand Troughおよび側壁に対応する。図より、極大流速の位置は、鉛直方向には水面より降下して $(z-\Delta)=15(\text{mm})$ 、横断方向にはSand Troughの位置に一致せずSand Ridge側に寄り $z/b=-0.4$ である。また、側壁近傍では、等値線が側壁に突出した形を呈している。

(2)二次流：図-3および4は、各々、二次流の横断方向成分 V の鉛直分布および鉛直成分 W の横断分布である。

図-3より、 $0 < y/b < 0.9$ の側壁近傍では二次流成分 V は、 $(z-\Delta) < 3(\text{mm})$ の底面近傍および $25(\text{mm}) < (z-\Delta)$ の水面側領域では、側壁から水路中央の方向に向きを取り、 $3(\text{mm}) < (z-\Delta) < 25(\text{mm})$ では逆に水路中央から側壁に向きを取ることがわかる。一方、図-4より、 $0.5 < y/b < 0.9$ の底面付近および $-0.75 < y/b < 0$ の領域で下降流、 $-1 < y/b < -0.75$ および $0 < y/b < 0.5$ の領域で上昇流の存在することが見い出される。図-3および4から、縦渦は図-1の破線で示されるような配列を取ることが示唆され、主流速の極大値が水面下に現れることおよび主流速の等値線が側壁に突出することは、これらの縦渦の存在によって説明され得る。

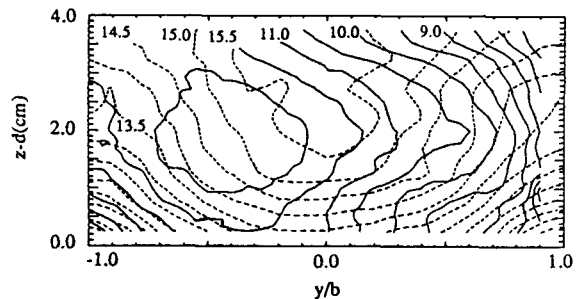
(2)レイノルズ応力：図-5および6は、各々、主流方向と横断方向の流速変動から成るレイノルズ応力 $-\overline{u'v'}$ および主流方向と鉛直方向の流速変動から成るレイノルズ応力 $-\overline{u'w'}$ の横断分布を示す。図-5より、 $-1 < y/b < -0.4$ では $-\overline{u'v'} > 0$ 、 $-0.4 < y/b < 0.9$ では $-\overline{u'v'} < 0$ であることから、横断方向の流速変動 v' により主流方向の運動量が横断方向に $-1 < y/b < -0.4$ では側壁からSand Ridgeの向きに、 $-0.4 < y/b < 1.0$ では側壁に向かって輸送したことが認められ、このことは、図-2に示された主流



<図-1> 座標系および記号の説明

<表-1> 実験条件表

流量 $Q(\text{l/sec})$	6.31	水路勾配 I_0	1/400
水深 $H_{\text{max}}(\text{cm})$	4.82	レイノルズ数 Re	21050
平均流速 $U_m(\text{cm/sec})$	45.86	フルード数 Fr	0.68
摩擦速度 $U^*(\text{cm/sec})$	3.35		

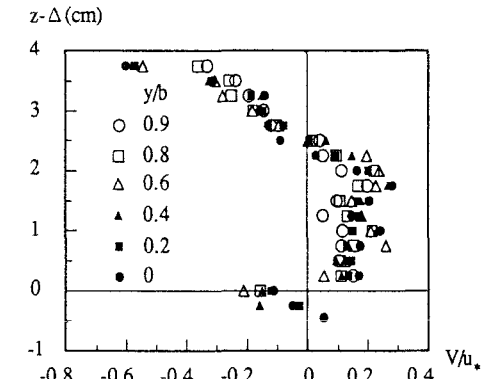


<図-2> 主流速の等値線図

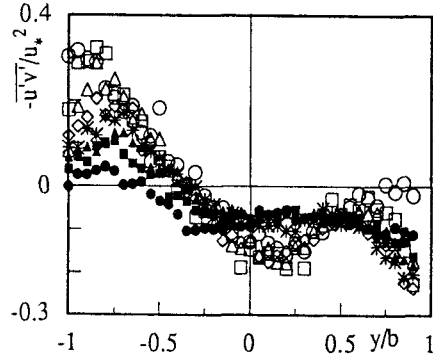
速の等値線からも窺える。また、図-6より、 $-\overline{u'w'}$ は $-0.4 < y/b$ の領域では半水深を境に底面側では負の値、水面側では正の値を取ることを、また、 $-1 < y/b < -0.4$ では $-\overline{u'w'}$ が Sand Ridgeに近づくに従って大きくなることからわかる。

(3)河床形状:側壁粗度の河床形状への影響を調べるために初期水利条件が同一の下に実験が行われた。図-7および8は、各々、側壁が粗面および滑面の場合の河床形状を示す。実験条件は、初期水深 $H=4.56\text{cm}$,水路勾配 $i_o=1/200$,平均流速 $U_m=49(\text{cm/sec})$,河床材料の中央粒径 $d_{50}=1.9(\text{mm})$ である。側壁が滑面では、明瞭な縦筋河床が現れているのに対して、側壁が粗面では水路中央部での洗掘が卓越し、縦筋河床はわずかに観察される程度である。側壁粗度の影響により、側壁近傍の主流速が抑えられ、水路中央部で主流速が大きくなり図-7に示される河床形状になったことが考えられる。しかし、中央粒径 $d_{50}=0.57(\text{mm})$ の場合には、側壁が滑面では縦筋河床が現れた水利条件で、側壁が粗面では砂堆が発生し、側壁近傍に深掘れ部が観察された。これは、側壁粗面から間欠的に発生する大規模渦が原因であることが示唆され、側壁粗度の河床形状への影響は河床材料の大きさによって異なることが予想される。

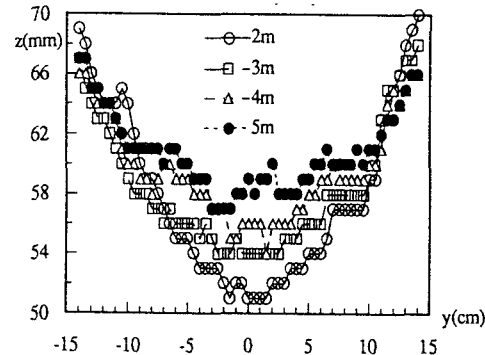
<参考文献> 1) 大本、平野：縦筋河床上の三次元乱流構造について、第33回水利講演会論文集、1989



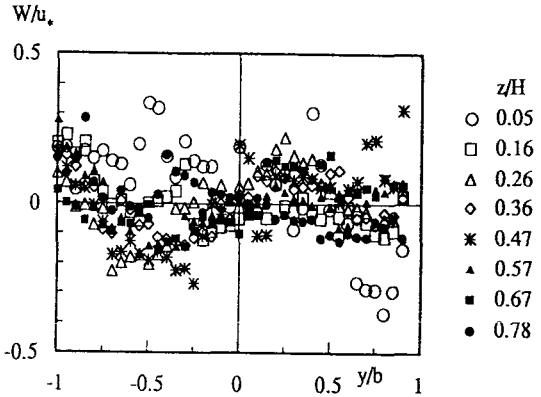
<図-3> v/U_* の鉛直分布



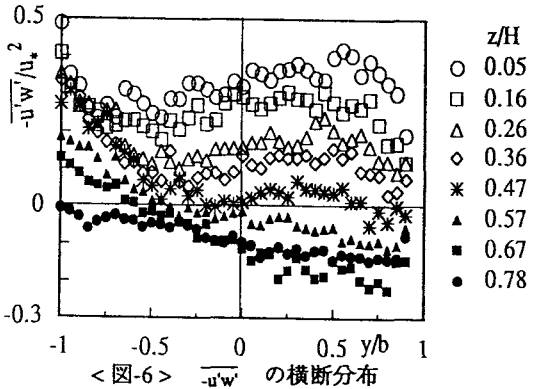
<図-5> $-\overline{u'v'}$ の横断分布



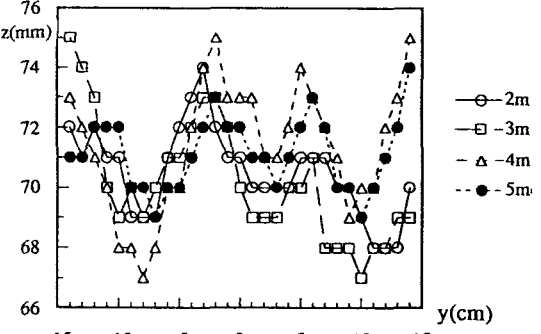
<図-7> 河床の横断形状 (側壁粗面)



<図-4> W/U_* の横断分布



<図-6> $-\overline{u'w'}$ の横断分布



<図-8> 河床の横断形状 (側壁滑面)