

II-214 堤防を越える流れの乱流構造

東北大学大学院 学生員○木嶋卓也

東北大学工学部 正 員 山路弘人

東北大学工学部 正 員 首藤伸夫

1. はじめに

堤防越流による洗掘や破堤の機構を知るには、越流した流れが、その堤防に及ぼす力を明らかにする必要がある。堤防上の流れは非常に複雑であり、法肩付近で曲率効果による負圧が生じたり、法尻で急激なせん断力の増加がみられる。ここでは、流れの模型実験を行い、底面圧力、2次元LDVによる流速分布、レイノルズ応力分布の詳細な測定を実施する。その中で特に、堤防を越えた流れの流下方向への平均流速や乱れの変化を報告する。

2. 平均流速分布及び底面摩擦速度

図-1は、底面2mmから水面までの平均流速分布を示している。流速分布は、底面ごく近傍まで一様分布に

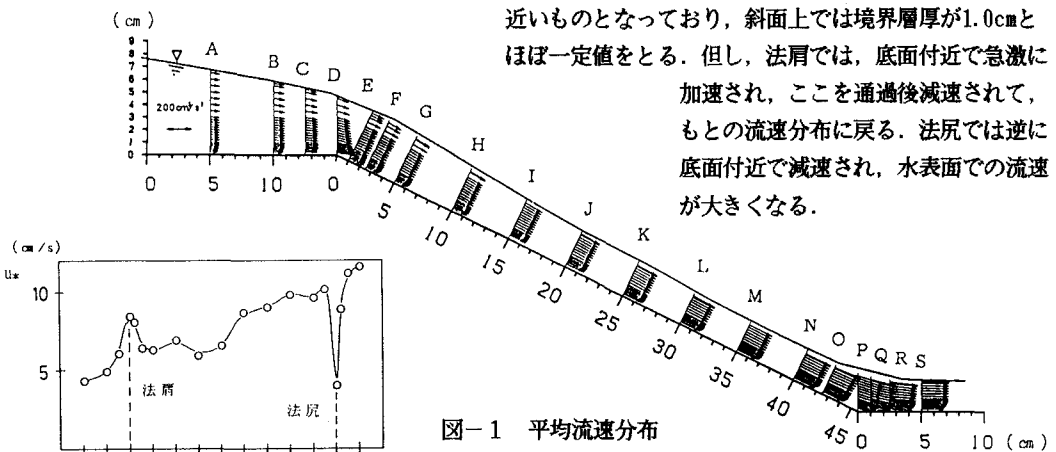


図-1 平均流速分布

図-2 底面摩擦速度

図-2は、底面摩擦速度の変化を示している。底面摩擦速度は、平均流速分布より底面付近で対数則に乗ると仮定できる数ポイントを用いて求めた。底面摩擦速度は、A点からD点(法肩)にかけて増加し、流れが法肩から斜面に向かう直後F点で急激に減少する。この付近は、流線の剥離を示唆している。その後摩擦速度は斜面流下方向にかけて徐々に増加していき、流れが法尻にぶつかるP点で再び急激に減少する。

3. 乱流特性

図-3は、代表的な剪断応力分布を測定点毎に示したものである。縦軸、横軸とも上記の底面摩擦速度で無次元化してある。A点での特徴は、 $\overline{v'v'}$ 、 $-\overline{u'v'}$ の分布が水表面付近で最大値をとることである。これは、河川内の堤防法面を駆け上がった越流水の天端上端カドでの剥離による乱れの影響が水表面付近まで達したためと考えられる。しかし、D点(法肩)になると、この影響が弱まり $\overline{v'v'}$ 、 $-\overline{u'v'}$ の最大値が小さくなる傾向を示す。J点(斜面上)では $\overline{u'u'}$ 、 $\overline{v'v'}$ とも底面で最大値をとり、A点とは対照に $-\overline{u'v'}$ は底面で正の最大値、水表面へ向かって負の値をとるようになる。P点(法尻)ではレイノルズ応力は急激に増加し、 $\overline{u'u'}$ 、 $-\overline{u'v'}$ とも、底面よりわずかに上で最大値をとる。これは、斜面を流下した流れが法尻で急激に曲げられたことによる影響である。

図-4に、天端中央部、法肩、斜面中程までの k 値($= (\overline{u'u'} + \overline{v'v'})/2$)の変化を示した。A点で見られる水表面付近における k 値の極大値は $\overline{v'v'}$ の影響が大きいため現れている。しかし、A点からD点にかけてこの $\overline{v'v'}$ の影響が弱まるにつれて k 値も減少しD点でほぼ一定値となる。その後、法肩直後E点、F点では

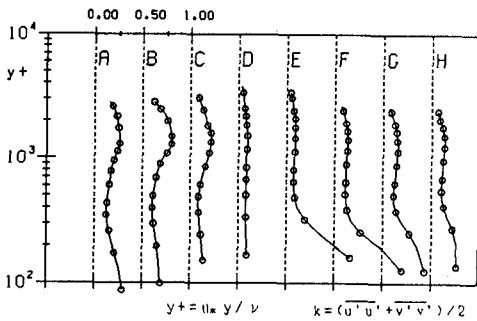


図-4 k値分布

底面付近での $\overline{u'u'}$, $\overline{v'v'}$ の増加により, k 値が底面で急激に大きくなる。これは, 法肩で生じた剥離の影響に対応すると考えられる。

4. 流速分布のパワースペクトル

図-5は, A点におけるU, V方向の流速分布のパワースペクトルを示している。図-4, A点の(*)に示す水深方向に3点 ($h=0.4, 4.0, 6.3\text{cm}$) 選び, それぞれ比較したものである。データのサンプリングは1000Hzで行い, 100Hzのローパスフィルターをかけてある。U方向のスペクトルは, $h=0.4\text{ (cm)}$ において全周波数領域にかけて大きい値をとり, 底面近傍で乱れ成分の大きいことがわかる。ただし, 他の2点とのスペクトルの分布形(減衰率)は同じであり乱流構造は等しいと考えられる。一方, V方向のスペクトルは, 3点とも20Hz以上の高周波数ではほぼ一致する分布を示すが, $h=4.0\text{ (cm)}$ では10Hz以下の低周波数領域が大きい。これは, 堤防上流天端カドでの剥離によるV方向上向き流速の変動が影響していると考えられる。

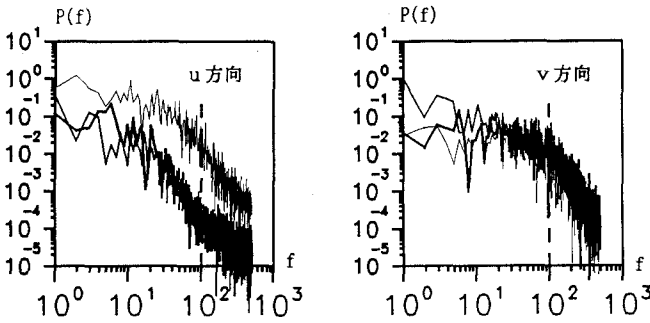


図-5 パワースペクトル

5. 終わりに

以上, 天端から法尻にかけた流れの平均流速分布と, 乱流特性の変化を示すことが出来た。特に天端から法肩を通り, 斜面までの乱流構造は複雑であり, 底面摩擦の効果により生ずる底面境界層のみならず隅角部で発生する流れ剥離の影響が無視できないことが確認された。

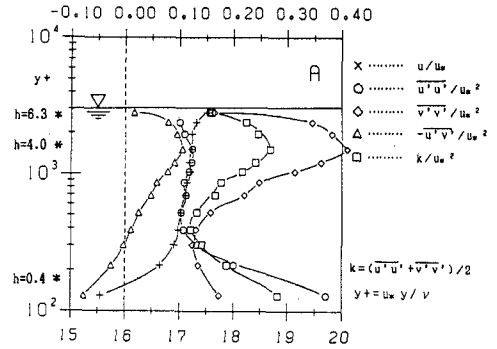


図-3 剪断応力分布

