

Ⅱ－5 1 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 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. 実験方法

実験装置を図-1に示す。底面圧力はマノメータを用いて測定し、平均流速 u, v 、レイノルズ応力 $\overline{u'u'}$ 、 $\overline{v'v'}$ 、 $\overline{u'v'}$ は、偏光式2次元LDVにより測定した。流速の測定範囲は、堤防天端中央から法尻下流60cmまでとし、図-2に示された各断面において、水深方向に1~2mm間隔で測定した。流れは、堤防天端において限界水深が生じ、射流となって斜面上を流下し、射流のまま堤内地を通過して量水槽へ流入する。堤内地で跳水が生ずることのない流れとした。

3. 平均流速分布及び底面摩擦速度

図-2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 (cm)
まで一様分布
に近いものと
なっており、
斜面上では
境界層厚が

1.0cmとはほぼ一定値をとる。但し、法肩では、底面付近で急激に加速され、ここを通過後減速されて、もとの流速分布に戻る。法尻では逆に底面付近で減速され、水表面での流速が大きくなる。

図-3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(*)式に乗ると仮定できる数ポイントをを用いて求めた。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。

$$\frac{u(y)}{U_*} = \frac{1}{\kappa} \ln \frac{U_* y}{\nu} + A, \quad \text{--- (*) 式}$$

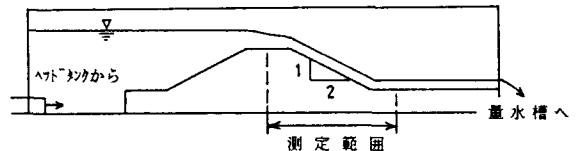


図-1 実験装置

実験条件

流量 (cm ³ /s)	底面	レイノルズ数	テ-ラ数
495	滑面	49,500	30,000

図-2 平均流速分布

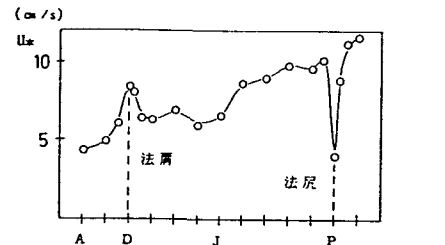


図-3 底面摩擦速度

4. 乱流特性

図-4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-5に、天端中央部、法肩、斜面中程までのk値 ($k = (\overline{u'u'} + \overline{v'v'})/2$) の変化を示した。A点で見られる水面付近におけるk値の極大値は $\overline{v'v'}$ の影響が大きいために現れている。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。

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、底面粗度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線剥離の影響が無視できないことが確認された。

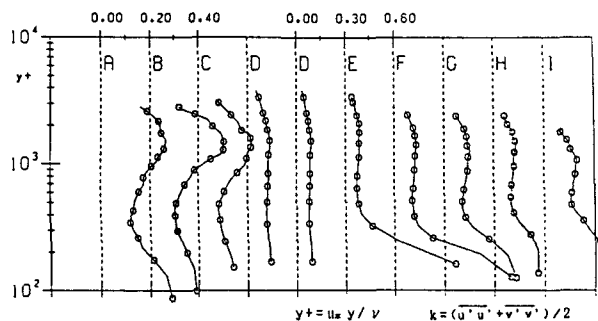


図-5 k値分布

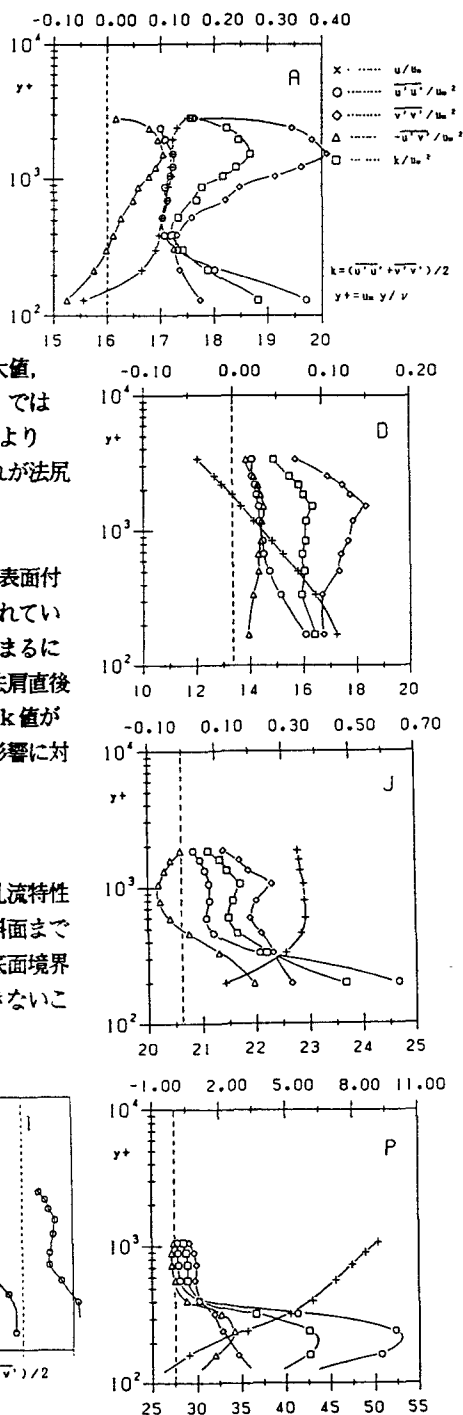


図-4 剪断応力分布