

堤防斜面における越流特性

鳥取大学 工学部 正員 道上 正規
鳥取大学 工学部 正員 鈴木 幸一
鳥取県庁 正員 平尾 篤

1. はじめに 河川の堤防は粘着土でできているため、洪水時に河水が越流すると容易に破壊する性質がある。そこで、越流した場合でも破壊しにくい堤防に関する研究が望まれるが、本研究はその一端として堤防上の越流水の流況特性を明らかにしようとしたものである。すなわち、越流水の水面形や流速分布等に関して固定床の堤体模型を用いて実験的に考察を加え、さらに境界層理論を用いて堤体斜面上のせん断応力分布を推定した。

2. 実験方法 実験は、幅40cm深さ40cmの水路に図-1に示すような形の堤体模型を設置して行なった。模型は高さ30cm天端長30cm法面勾配1:2とし、表面をペイント仕上げして滑面とした場合と、さらにその上に砂をはりつけて粗面とした場合の二種類について比較した。測定断面およびそのスケールは図-1に示す通りであり、法肩部分を $x=0$ の原点としてある。そして、各断面について水面形はポイントゲージを、流速はピトー管を用いて測定した。流量は滑面粗面ともそれぞれ $q=80\text{cm}^2/\text{sec} \sim 210\text{cm}^2/\text{sec}$ の間で9通りに変化させた。

3. 水面形形状 越流水の水面形形状は、図-2

および図-3に示す通りである。図中の曲線は、図-1に示す記号を用いて法肩部分に限界水深 h_c が現われ、流水中のエネルギー損失がないと仮定して求めたエネルギー式を変形して x/h_c と h/h_c の関係を表わした次式、

$$\frac{x}{h_c} = \left\{ 1 - 3 \left(\frac{h}{h_c} \right)^2 + 2 \left(\frac{h}{h_c} \right)^3 \cos \theta \right\} / \left\{ 2 \left(\frac{h}{h_c} \right)^2 \sin \theta \right\} \quad (1)$$

を図示したものである。式(1)と実験値を比較すると、滑面の場合は斜面全域にわたって両者がほぼ一致している、上述の仮定のもとに水面形を近似することの妥当性が認められる。しかし、粗面の場合は $x=10h_c$ 付近より両者の値が異なり、実験値の水深は一定になる傾向が認められ、湍流状態に近くなり、摩擦によるエネルギー損失を無視して水面形が評価される範囲は小さくなる。

4. 流速分布 流速は、堤体面に垂直方向にピトー管を1mmずつ移動

して測定したが、その結果の一例を示したものが図-4である。図中には測定断面のうち7断面のみ載せ、断面番号を著した。

この図によると、滑面の場合流下距

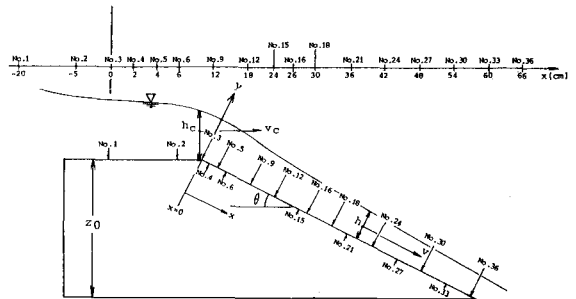


図-1 堤体模型および測定断面

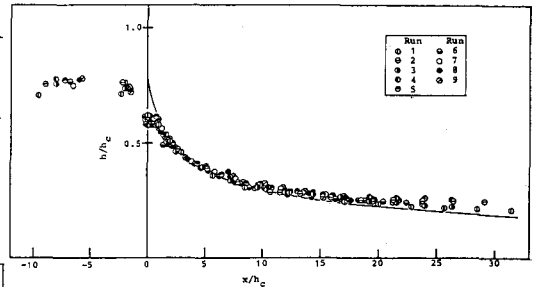


図-2 水面形形状(滑面)

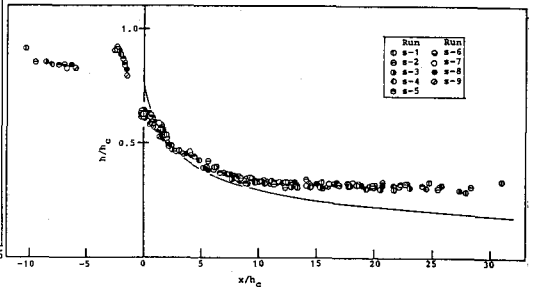


図-3 水面形形状(粗面)

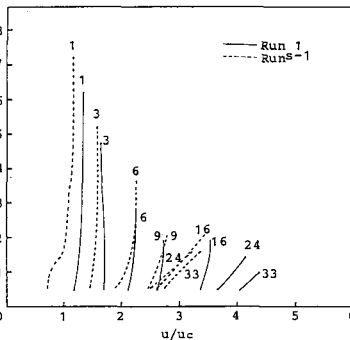


図-4 流速分布

離が増すと水脈が薄くなり、流速が速くなるようすがわかる。
粗面の場合には、滑面に比べて堤体面に近いほど流速が遅くなっている。また、流下距離がある程度以上になると流速の変化がほとんどなく、等流状態に近いことが確かめられた。つぎに、境界層内の流速分布について考える。各測定断面で1mmごとに測定した流速のうち底面からN番目の流速を U_N とし、 $U_N \approx 0.985 \times U_{N+1}$ となる最初の流速 U_N を境界層外縁の流速 U_1 とし、この U_1 が現われる位置(y)を境界層厚とする。そして、 y/δ と U/U_1 の関係を表わしたものが図-5および図-6である。境界層内の流速分布は一般的に、 $U/U_1 = (y/\delta)^n$ (2)

の形で表わされ、指数 n としては従来よりBlasiusの $1/7$ 乗則($n=1/7$)が用いられる。今回の実験では、滑面の場合9通りの実験値を近似すると図-5の曲線で示すように $n=1/11$ となり、経験式より n の値が小さくなった。粗面の場合も同様に近似すると $n=1/7$ となり、滑面よりむしろ粗面の方が経験式に近いという結果になった。

5. セン断応力分布 堤体斜面のせん断応力分布を求めるには、境界層中に運動量の定理を適用することによって得られる次式、 $\frac{\tau_0}{\rho U_1^2} = \frac{d\theta}{dx} + \frac{1}{U_1} \frac{dU_1}{dx} (2\theta + \delta^*)$ (3)

ここに、 δ^* : 排除厚、 θ : 運動量厚、 U_1 : 境界層外縁の流速で便宜的に表れて与える。

を用いて求める。このために必要な境界層の発達を表わしたものが図-7および図-8である。図中の太い実線が実験値を直線近似したものである。この式と式(1)および式(2)を式(3)に代入してせん断応力を求めると、図-9および図-10に実線で示す曲線となり、印で示されるアレストン管によるせん断応力分布と大きく異なった。せん断応力の実測値と計算値とを図-9および図-10の点線のように合わせるためには境界層の発達状況を図-7および図-8の点線のように仮定しなければならない。境界層厚 δ の特性が理論によるせん断応力特性を大きく変化させることがわかったが、その決定はあいまいであり、より精度の高い δ の決定がなされなければならない。

6. おわりに 境界層厚 δ の決定に関して多少のあいまいさが残り、今後の研究課題となった。また、越

流による堤防の破壊機構を明らかにするために、ここで得られた堤体上のせん断応力分布に対して粘着土がどのように侵食されるかを今後明らかにする必要がある。

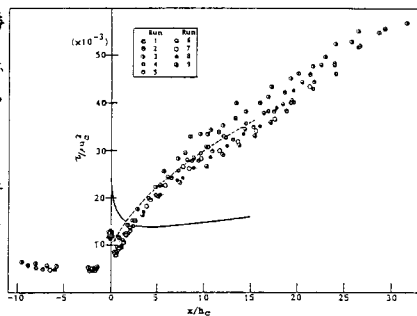


図-9 セン断応力分布(滑面)

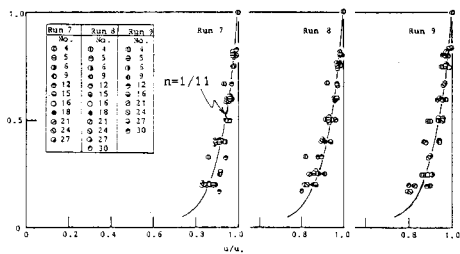


図-5 境界層内の流速分布(滑面)

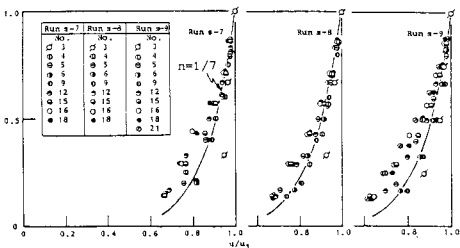


図-6 境界層内の流速分布(粗面)

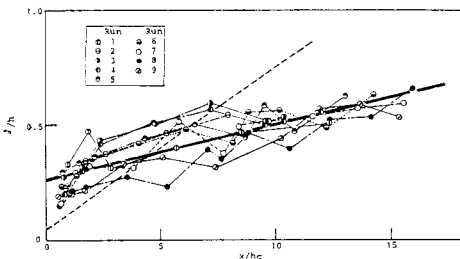


図-7 境界層の発達(滑面)

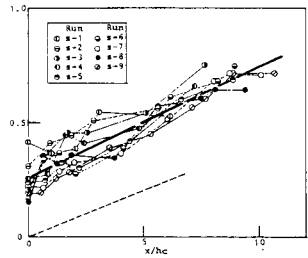


図-8 境界層の発達(粗面)

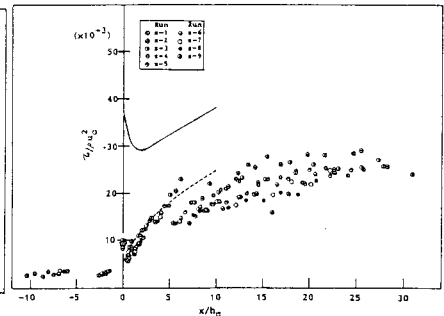


図-10 セン断応力分布(粗面)