

水門下流部における荒掘限界

山口大学 正 斎藤 隆
○山口大学 正 湯田 芳樹
大 本 組 正 山 浦 守

ダムや水門などの水利構造物の機能を十分に発揮させるためには、強裂なる荒掘作用をさつこれらからの放流水による荒掘を防止することの必要である。土屋が滑面水たけ下流部の荒掘限界について実験および理論的研究を行なっているが、実際の設計において必要とされる粗面水たけ下流部についてはほとんど研究されていない。

本文は粗 滑面水たけ下流部における河床の荒掘限界を、砂移動に対する乱れなどの効果を若干考慮して、開水踏流れにおける砂粒の移動限界を代表流速による修正で求めて求めようと試みたものである。

実験は厚さ10mmのアクリル樹脂板で製作した幅20cmで長さ10cm×80cmの粗 滑面水たけ下流部に厚さ10mmの河床を設け、噴出流速を徐々に増大させていって河床砂の移動限界時の噴出流速を測定した。砂粒の移動限界の判定は不安定な砂粒が移動し始めて噴出流速と比較的安定な砂粒が移動し始めて噴出流速を単純平均して、その砂粒の移動限界における噴出流速とした。

粒径 d の河床砂に作用する代表流速を U_d 、抵抗係数を C 、摩擦係数を μ 、砂移動に寄与する乱れなどの効果を f で表わし、砂粒に働く流体力 $F \propto C f d^2 U_d^2$ と砂粒の抵抗 $R \propto \mu s g d^3$ との比から定まる限界摩擦速度 U_{*c} は比例係数を全て K に含めると、開水踏流れにおいて次式と表わされる。

$$(1) \frac{U_{*c}^2}{s g d} = K \frac{\mu}{C f} \left(\frac{U_{*c}}{U_d} \right)^2 = F \left(\frac{U_{*c} d}{U_d} \right)$$

上式の砂粒 Reynolds の関数 F が与えられていると、

$$(2) \frac{U_{*c}^2}{s g d} = \left(\frac{U_{*c} d}{U_d} \right)^2 \frac{s g d^3}{U_d^2}, \quad \frac{U_{*c}}{U_0} = \frac{U_{*c} d}{U_d} / \left(\frac{U_0 B_0 d}{U_d} \right)$$

なる関係より図-2 a, b の交点として限界摩擦速度の $U_{*c}^2/s g d$ と U_{*c}/U_0 の関係が与えられる。局部抵抗係数 $2 U_{*c}^2/U_m^2 = 2 U_{*c}^2/U_0^2 \cdot U_0^2/U_m^2$ が図-2 c のように与えられれば、b 図の交点より水平に引いた直線との交点が荒掘限界状態の Apron 長を与える。

限界摩擦速度を Shields の曲線で与え、壁面噴流による荒掘限界を求めて実験結果と比較したのが図-3 である。粗面水たけ下流部の場合計算値と実験値とはほぼ一致しているが、滑面水たけ下流部の場合には計算値の Apron 長の実験値よりかなり大きい。土屋の式と実験値とはよく一致していて、本実験における荒掘限界に対する直観的判

図-1 実験装置および記号

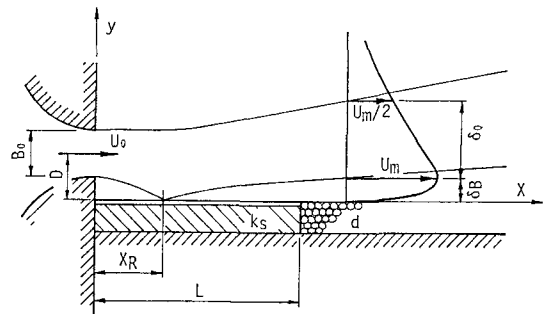
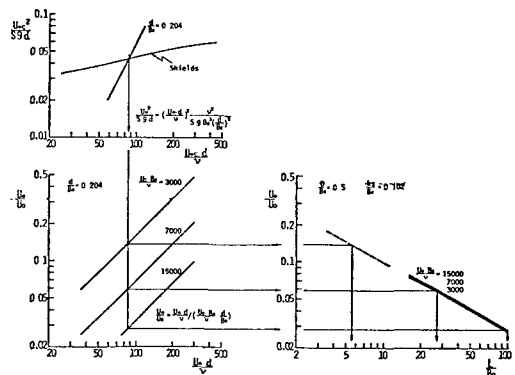


図-2 移動限界図解法



定が土屋のとは一致している。

開水路流れと壁面噴流流れにおける砂粒の移動限界に関する関係を見るため、3重添字を用いることにする。第1添字は主流部流れの有無、第2添字は速度分布を規定している程度、第3添字は壁面からの高さとし、代表流速を簡便に d の高さにおける流速を用いることにする。式(2)を書きなおすと次式となる。

$$(3) \left(K \frac{\mu}{C_f}\right)_{ERR} = F \left(\frac{U_{CERR} R}{U}\right) \left(\frac{U_{ERR}}{U_{CERR}}\right)^2$$

通常砂粒の抵抗係数はほぼ一致とみなせ、 k と d とは同程度であれば砂粒周囲の流れのほとんどは乱流底層流れなの？”

$$(4) \left(K \frac{\mu}{C_f}\right)_{ERR} = \left(K \frac{\mu}{C_f}\right)_{ERd}$$

と近似でき、次式が得られる。

$$(5) \frac{U_{CERR}^2}{sgd} = F \left(\frac{U_{CERR} R}{U}\right) \left(\frac{U_{ERR}}{U_{CERR}}\right)^2 \left(\frac{U_{ERd}}{U_{CERRd}}\right)^2$$

$$(6) \frac{U_{ERR}}{U_{CERR}} = Ar - \frac{1}{K} \frac{(E-1) \frac{R}{\delta}}{(1-\frac{R}{d})(1-E\frac{R}{d})}$$

$U_{ER} R/U = 20 \sim 100$ の範囲で、開数 F は増加し式(6)の Ar は減少するので両者の積はほぼ一定と近似できるの？、式(5)は次式と書ける。

$$(7) \frac{U_{CERRd}^2}{sgd} = F \left(\frac{U_{CERRd} d}{U}\right) \left(\frac{U_{ERR}}{U_{CERRd}}\right)^2 \left(\frac{U_{ERd}}{U_{CERRd}}\right)^2$$

滑面水たたきの場合、 $R=0$ のので式(6)の限界摩擦速度の修正ができないの？、粗度 d なる場合を基準にすると次式となる。

$$(8) \frac{U_{CERRd}^2}{sgd} = F \left(\frac{U_{CERRd} d}{U}\right) \left(\frac{U_{ERd}}{U_{CERRd}}\right)^2 \left(\frac{U_{ERd}}{U_{CERRd}}\right)^2$$

Schields の限界摩擦速度を式(7) および式(8) で修正して荒堀限界を前述した図解法を用い計算で求めた結果を実験結果と比較したものの図-4である。

段高 D と水たたき粗度 R を変えて行った実験結果と Schields の限界摩擦速度を式(7)、(8) で修正して求めた荒堀限界を比較したのが図-5、図-6である。両者にみられる違いには剥離領域における Roller による噴出流の動揺があるのと考えられる。

図-3 水たたき下流部における荒堀限界

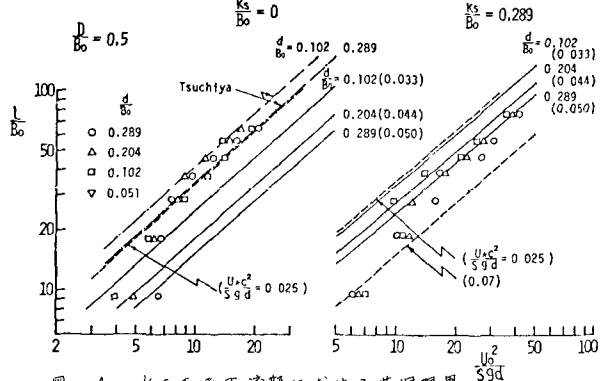


図-4 水たたき下流部における荒堀限界

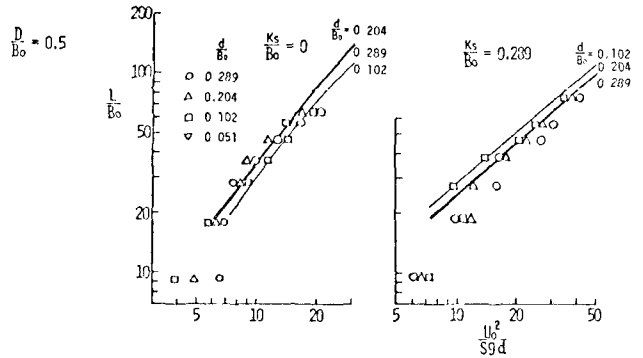


図-5 段落水たたき下流部の荒堀限界

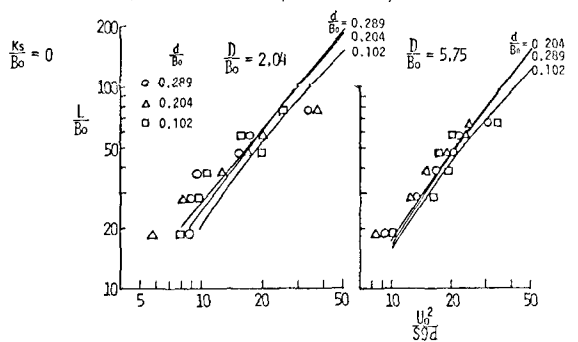


図-6 段落水たたき下流部の荒堀限界

