

砂防ダム下流部における洗掘現象について (III)

三重大農 〇林 松郎 皆川邦彦 深谷考司

1. はじめに

砂防ダムの洗掘は水通しからの落水水が、もとの溪床に衝突することにより始まり、次第にその深さを増してゆく。落水水によって溪床が少し掘り始めると、洗掘穴を形成し、水深 h_1 が、洗掘穴の上部に生ずるようになる。落水水脈の貫入流速 V_{00} は、水深 h_1 と洗掘深 T によって拡散し、減衰する。減衰するときの中心流速 V_0 は D とナツプの厚さ、 η を進入後の長さとするとき次式で表される。

$$V_0/V_{00} = k(D/\eta)^{0.5} \quad \dots(1)$$

この場合、 $\eta = (h_1 + T)/\sin\theta_1$ 、 θ_1 : 水脈の進入角である。また、 k は定数であり、Albertson は $k = 2.28$ を与えている。(1)式で示されるように、中心流速 V_0 は η が大きくなるにつれて小さくなってゆく。したがって、一般に砂を押し流す流速には限界値があるので、ある深さ以上に洗掘が進むと、底面での速度は水クッションによって、砂を押し流すような流速とはならず、洗掘はもうこれ以上進行しなくなる。これが洗掘平衡であり、このときの洗掘深が最大洗掘深を意味することになる。

2. 洗掘平衡の理論

洗掘平衡状態では、減衰噴流は底面に衝突した後、洗掘底面に沿って流れ、そこに境界層を生じる。境界層外縁流速の最大値 u_{0max} は次式で表すことができる。

$$u_{0max}/V_{00} = k'(D/\eta)^p \quad \dots(2)$$

ここに、 k' 、 p は定数であり、他の記号は(1)式の場合と同じである。 k' の値は図-2に示されているように、固定床の場合と移動床(洗掘状態のとき)の場合と異なりなく、 $k' = 2.28$ である。これに

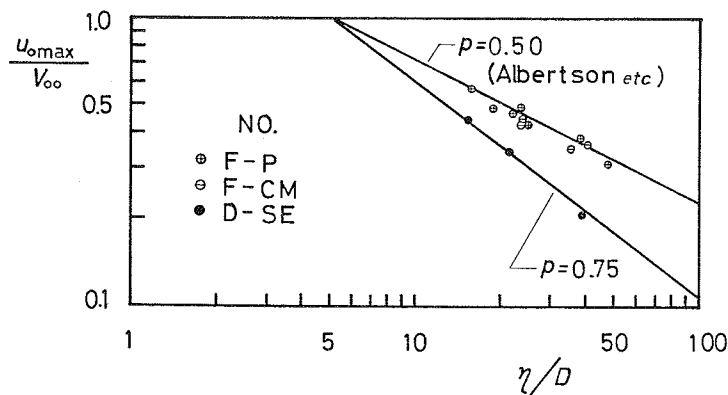


図-2 u_{0max}/V_{00} と η/D の関係

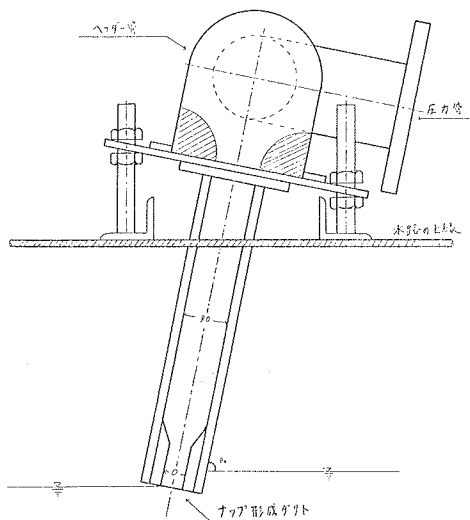


図-1 ナツプ形成ゲート

対して p の値は、固定床の場合、 $p = 0.50$ であるが、移動床の場合 $p = 0.75$ である。固定床の場合、(2)式の右辺は(1)式の右辺に一致するのに対し、移動床の場合 p の値が、固定床のときと比べて大きくなっているのが特徴である。移動床である実際の洗掘状態の場合

には床面からの噴上げ流に砂が巻き込まれるために、 U_{0max} の値が小さくなっていると考えられる。

以前に著者は、洗掘底面に発生する境界層に対して、Karmanの運動量方程式を適用し、底面での剪断応力について次式を導いた。

$$\tau_b = \rho B k_0^2 \lambda^{\frac{1}{1+m}} \left(\frac{k}{1+m} \right)^r \left(\frac{d}{h} \sin \theta_1 \right)^{2p+r} \left(\frac{D}{d} \right)^{2p} V_{00}^2$$

…… (3) ここに、 ρ ：水の密度、 $B, k_0, \lambda,$
 k ：定数、 $m=2n$ 、 n ：境界層内の速度分布のべき数、 $r = m/(1+m)$ 、 d ：砂の平均

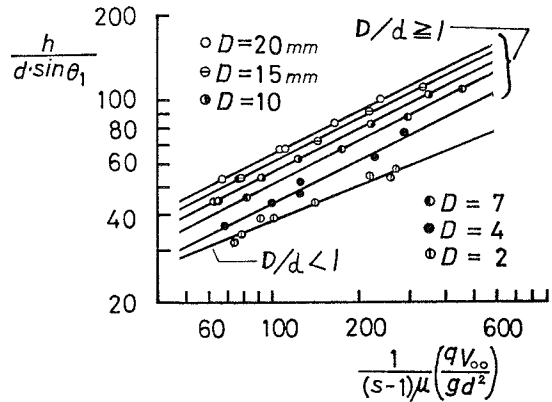


図-3 各 D/d についての β

粒径である。この剪断応力が、洗掘の底面に作用しているとする、遮蔽係数を ε として、1枚の砂粒に加わる力 $F = \tau_b \varepsilon \pi d^2 / 4$ であり、一方、砂粒の抵抗力 R は次のようになる。 $R = (\sigma - \rho) g \mu \pi d^3 / 6$ ここに、 σ ：砂の密度、 μ ：砂礫の水中での静止摩擦係数である。洗掘が平衡状態の場合には砂礫の移動がないのであるから、底面の砂粒は流れによる流体力 F と、砂粒の抵抗力 R とが釣り合っており、 $F = R$ である。したがって、
 洗掘深の無次元深さは
$$\frac{h}{d \sin \theta_1} = C \left[\frac{1}{(s-1)\mu} \left(\frac{q V_{00}}{g d^2} \right) \left(\frac{D}{d} \right)^\alpha \right]^\beta \quad \text{----- (4)}$$

(4)式のようになる。ここに、 $C = [\varepsilon k_0^2 B \lambda^{\frac{1}{1+m}} \{k/(1+m)\}^r]^\beta$ 、 $S = \sigma/\rho$ 、 $\alpha = 2p-1$ 、 $\beta = 1/(2p+r)$ 、 q ：単位幅流量 である。(4)式は、貫入ナツアの厚さと底面砂礫の比 D/d が一定であれば、 β を決定することができ、また、種々の D/d に対する実験を行うことができれば、 α も決定することができ、これまで、自由落下による自然のナツアを用いていたので、ナツアの厚さを一定に保って実験を行うことが難しかった。今回は、図-1のようなナツア形成ダクトを試作

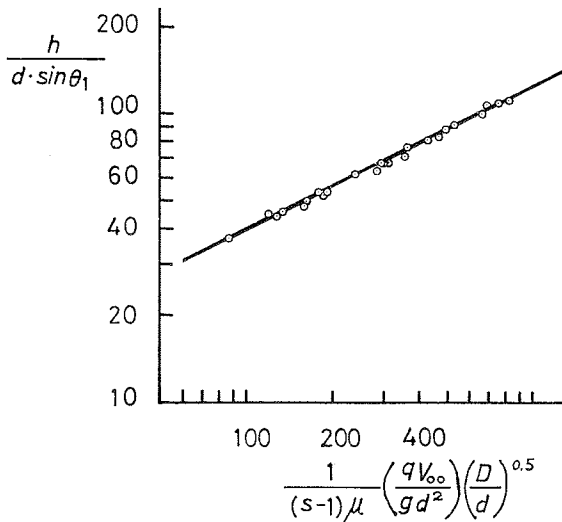


図-4 最大洗掘深の無次元表示

し、2, 4, 7, 10, 15, 20 mm の6種類の人エナツアを形成させて実験を行った。

3. 実験結果

各 D/d に対する最大洗掘深は図-3に示した。 $D/d \geq 1$ の場合、 $\beta = 0.50$ である。図-2より、 $p = 0.75$ であるから $r = 0.50$ となる。 $D/d \geq 1$ の場合に、(4)式の C, α, β を実験値より $C = 0.40$ 、 $\alpha = 0.50$ 、 $\beta = 0.50$ ($\mu = 0.933$) とすることができ、 $\alpha = 2p-1$ であるから、このときの p を求めると $p = 0.75$ となり、 α と β における p の値は理論通り一致する。図-4は(4)式と最大洗掘深の実験値を示したものである。