

(34) 砂防ダム水叩部の水クッション効果について

三重大学農学部 林 拙郎

砂防ダムの効用の一つとして、流水のもつエネルギーの減衰作用を挙げることができる。このエネルギーの減衰は下流に発生する洗掘面の水深の大小によって、その作用の大きさも異なることが考えられる。ここではこの作用に關係する洗掘面の水深について主に考えてみようと思う。

初めに図1のような場合について検査面を、断面II-0-主ダムの壁面にとると次式が成立する。

$$\rho q_0 (V_2 - V_0 \cos \theta_0) = \rho g h s^2 / 2 - \rho g h_2^2 / 2 - \rho g z (2h_2 + z) / 2$$

ここで、 $F_0^2 = q_0^2 / g D_0^3$ とおいて整理すると次のようになる。

$$(hs/D_0)^2 = -2F_0^2 (\cos \theta_0 - \frac{D_0}{h_2}) + (\frac{h_2}{D_0})^2 + 2(\frac{Zh_2}{D_0}) + (\frac{Z}{D_0})^2 \quad \dots(1)$$

実験結果と計算値との関係を図3に示した。次に、水クッションのみの場合について、同様に式を立て整理すると次式を得る。

$$(hs/D_0)^2 = 2F_0^2 \{(D_0/h_2) - \cos \theta_0\} + (h_2/D_0)^2 \quad \dots(2)$$

この式による計算値と実験値を図2に示した。

以上は h_2 からの計算であるが、 h_1 からの計算を次に行なってみる。検査面を噴流拡散面にとると、運動量方程式は x、y 方向にそれぞれ次のようになる。

$$\begin{aligned} p(q_0 + q_s + q_1) V_1 \cos \theta_1 - \rho q_0 U_0 \cos \theta_0 &= F_x s - F_{x_1} \\ p(q_0 + q_s + q_1) V_1 \sin \theta_1 - \rho q_0 U_0 \sin \theta_0 &= F_y \end{aligned}$$

ここで、 $F_x s - F_{x_1} = F_x$ とし、 $q_s/q_0 = D_s/D_0 = \alpha$ 、 $q_1/q_0 = D_s/D_{1_0} = \beta$ を用いて、
 $V_1 \cos \theta_1 = \{V_0 \cos \theta_0 + F_x / (\rho g_0)\} / (1 + \alpha + \beta) \quad \dots(3)$

を得る。又

$$V_1 \sin \theta_1 = \{V_0 \sin \theta_0 + F_y / (\rho g_0)\} / (1 + \alpha + \beta) \quad \dots(4)$$

である。これらの二式より V_1 は次式より求められる。

$$V_1 = (V_1^2 \sin^2 \theta_1 + V_1^2 \cos^2 \theta_1)^{1/2} \quad \dots(5)$$

一方、貫入後の進行角度 θ_1 は次式となる。 $\cot \theta_1 = U_1 \cos \theta_1 / (U_1 \sin \theta_1)$

さらに、洗掘底面での分流について、図1のように、 θ_2 方向に運動量方程式を立てると次式が成立する。 $\rho(q_0 + q_1)V_1 - \rho q_s V_1 - \rho(q_0 + q_s + q_1)V_1 \cos(\theta_1 - \theta_2)$
 $= \rho g h_1 s D_s - \rho g h_1 D_1 + \rho g(D_1^2 - D_s^2)/2$

上式と先の(5)式より α 、 β 、 V_1 を求めるのであるが、 h_s が求まらないので以下のよう近似を行なう。まず、上式で右辺をゼロとすると、

$$\alpha = \{1 - \cos(\theta_1 - \theta_2)\} (1 + \beta) / \{1 + \cos(\theta_1 - \theta_2)\}$$

となる。又、 $\alpha = \beta$ とすると次のようになる。

$$\alpha = \beta = \{1 - \cos(\theta_1 - \theta_2)\} / \{2 \cos(\theta_1 - \theta_2)\} \quad \dots(6)$$

(5)式より V_1 を求め $F_x = F_y = 0$ とすると $V_1 = V_0 / (1 + \alpha + \beta) = V_0 / (1 + 2\alpha)$ $\dots(7)$ となる。最後に、流れの全体について(I-0-壁面)検査面をとると次式が成立する。

$$\begin{aligned} \rho(q_0 + q_1)V_1 + \rho(-V_{11})(-q_1) - \rho q_0 V_0 \cos(\theta_0 - \theta_2) \\ = \rho q h s^2 \cos \theta_2 / 2 - \rho g h_1^2 \cos \theta_2 / 2 \end{aligned}$$

$$h_s^2 = \frac{2}{g \cos \theta_2} \{(q_0 + q_1)V_1 + q_1 V_{11} - q_0 V_0 \cos(\theta_0 - \theta_2)\} + h_1^2 \quad \dots(8)$$

上式に(6)、(7)式を用い、 $\theta_2 = 0$ とした場合の計算結果と実験結果を図2、3に示した。以上は V_1 、 α (β) の決定に近似解を用いて計算した結果であるが、よく実測値に適合していると思う。又、(2)式では流量が多くなるにつれて適合しなくなるが、(8)式では精密計算を行うことにより適合性はよくなるものと思われる。

次に、水クッションによる比エネルギーの減衰について図4のよう表してみた。実験の範囲からでも E_2 は $E_2 = 0.25 E_0 + 1.5 h_c$ 以下に低くなっていることがわかる。このことは、砂防ダムが水クッションによって流水のエネルギーを大きく減少させていることを表している。

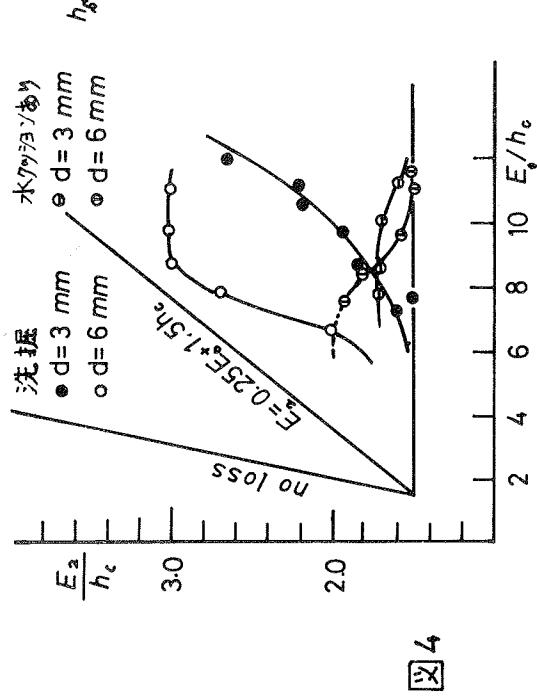


図 4

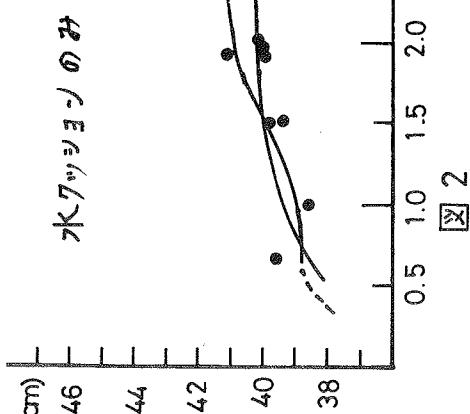


図 2

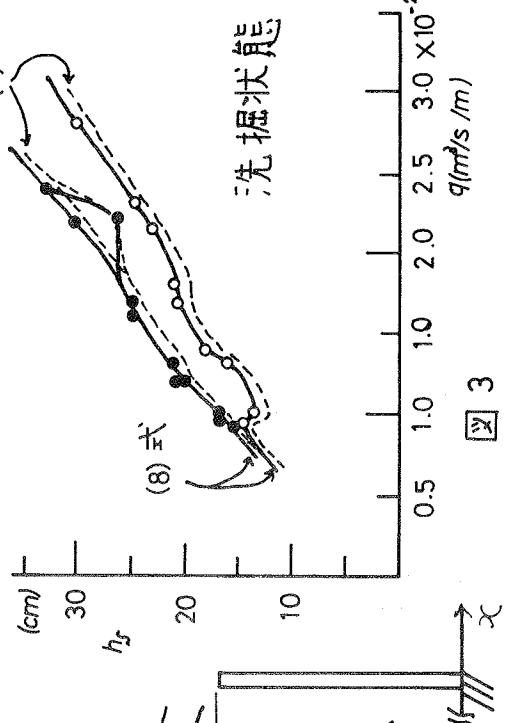


図 3

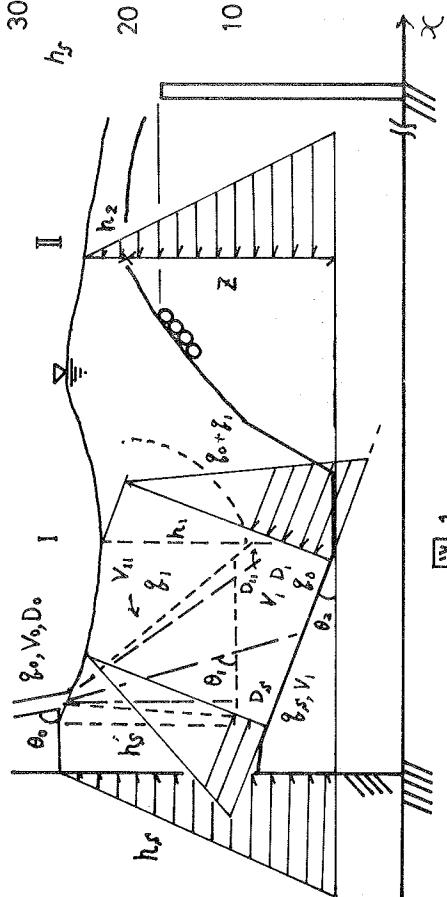


図 1

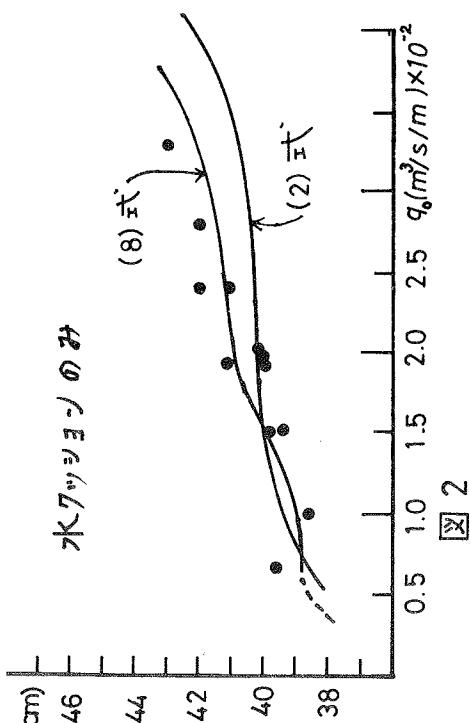


図 2