

1. 緒言 筆者らは、先に潜りせき下流部の流れについて解析を行なったが、ここではその結果を用いて、坑中の異なる二種のタイプの矩形坑の流量算定法をのべる。

2. 断面1, 2間の運動量の式

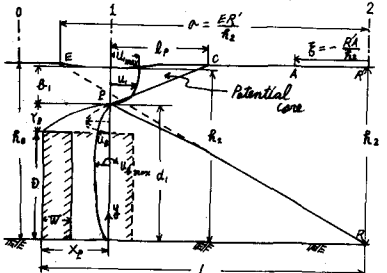


図-1 流れのモデル (注: 黄線は流すのはW > Xpの場合)

- $W < X_p$ の場合

$$h_{1k}^3 - (2\beta_1 F_{12} + 1) h_{1k} + 2\beta_1 F_{12}^2 = 0$$
 - $W > X_p$ の場合

$$h_{1k}^3 + 2\beta_1 h_{1k}^2 + (D_k^2 - 1 - 2\beta_1 F_{12}) h_{1k} + 2\beta_1 F_{12}^2 = 0$$
- $h_{1k} = h_1 / r_2$, $F_{12} = U / \sqrt{g r_2}$, $D_k = D / r_2$, U : 断面2の平均流速
 β_1 は次式のように定義し、一種の運動量補正係数と考える。
- $$\beta_1 = \left(\int_{y=d_1}^{y=r_1} u^2 dy + \int_{y=0}^{y=d_1} u^2 dy \right) / U_1 h_1 \quad (2)$$
- $U_1 = Q / r_1$, Q : 単位巾流量

3. 断面0.1間のエネルギー式

河床勾配は小さいと考え、河床を基準面とする。

- $W < X_p$ の場合

$$Q = \left\{ h_0 h_1 / \sqrt{\alpha_1 r_2^2 - \alpha_0 r_1^2} \right\} \sqrt{2g(r_0 - r_1)}$$
 - $W > X_p$ の場合

$$Q = \left\{ h_0 h_1 / \sqrt{\alpha_1 r_2^2 - \alpha_0 r_1^2} \right\} \sqrt{2g(r_0 - (r_1 + D))}$$
- ここに、 α_1 は次式のように定義し、一種のエネルギー補正係数であると考え。

$$\alpha_1 = \left(\int_{y=d_1}^{y=r_1} u \frac{u^2}{2g} dy + \int_{y=0}^{y=d_1} u \frac{u^2}{2g} dy \right) \cdot 2g / U^2 \quad (4)$$

4. α_1 および β_1 の計算法について

図-2に断面1における流速分布を示す。これによる流速分布はほぼ一様であり、次のようにおく。

$$\left. \begin{aligned} U_1 / U_{1max} &= g_1(\eta_1), \quad \eta_1 = 1 - \{(r_1 - y) / g_1\} \\ U_1 / U_{1max} &= g_2(\eta_2), \quad \eta_2 = y / (r_1 - g_1) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

(2)式で定義された β_1 を(5)式を用いて変形し、これ

と連続の式より U_{1max} を消去すると、次のようになる。

$$\beta_1 = \sqrt{2} U_{1max} g_{1k} h_{1k} + \left\{ E_2 h_{1k} (1 - \sqrt{2} g_{1k} U_{1max}) / E_1^2 (h_{1k} - g_{1k}) \right\} \quad (6)$$

ここに、 $U_{1max} = U_{1max} / U_1$, $U_1 = Q / r_2$, $g_{1k} = g_1 / r_2$, $E_1 = \int_0^{r_1} g_1(\eta_1) d\eta_1$

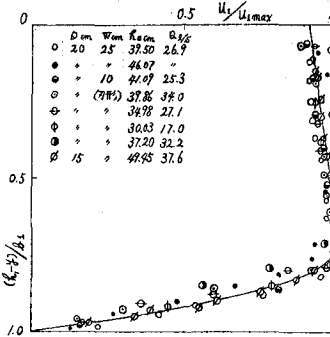


図-2(a) 断面1の流速分布(正流部)

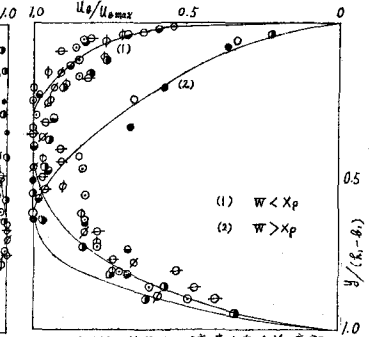


図-2(b) 断面1の流速分布(逆流部)

$$E_2 = \int_0^{r_1} g_2^2(\eta_2) d\eta_2, \quad S_1 = \int_0^{r_1} g_1(\eta_1) d\eta_1, \quad S_2 = \int_0^{r_1} g_2^2(\eta_2) d\eta_2$$

同様にして

$$\alpha_1 = h_{1k}^2 \left\{ \left\{ E_2 (1 - \sqrt{2} g_{1k} U_{1max}) / E_1^2 (h_{1k} - g_{1k}) \right\} + g_{1k} S_2 U_{1max}^2 \right\} \quad (7)$$

ここに $S_2 = \int_0^{r_1} g_2^3(\eta_2) d\eta_2$, $E_2 = \int_0^{r_1} g_2^2(\eta_2) d\eta_2$

いま、近似的に断面1, 2の水位が等しいと仮定すると、

- $W < X_p$ では $h_{1k} = 1.0$, $g_{1k} = 1 - D_k - Y_{pk}$
 - $W > X_p$ では $h_{1k} = 1 + D_k$, $g_{1k} = 1 - D_k - Y_{pk}$
- $D_k = D / r_2$, $Y_{pk} = Y_p / r_2$

ここでは(8)式を(6),(7)式に入れた α_1 , β_1 を用いた。

5. U_{1max} の計算について

筆者らは、先に(潜りせき下流部の流れについて解析し、表面流速の低減、逆流部流速などの計算法を示した。噴流域の流速分布としては、Schlichting

の式を用いたが、その後さらに実験を行い、その結果、噴流域内の流速分布としては図-3に示すような、 $f(\eta) = 1 - (1 - \eta^{1/4})^2$ と仮定した方がよい結果がえられるようであり、その場合の表面流速の計算結

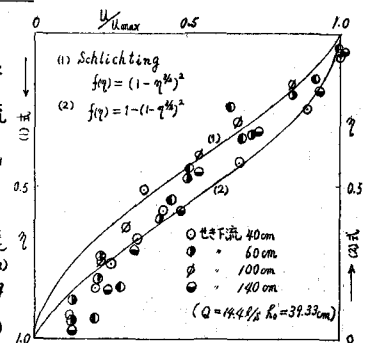


図-3 噴流域内流速分布

果を図-4に示す。この図から、ここでは u_e の近似式として次式を提案する。

$$u_e = 25.4 / (\sigma + 5)^{-1.33} \quad (9)$$

図-5に Potential

-coreの長さの突

測値を示す。こ

れによると、 D/δ_1

が増大すると δ_p/δ_1

も急激に増大し

て一定の値に近

づいていく。 D/δ_1

が大きくなると、流

れは Free jet の状

態に類似の流れ

となる考えられる。Free jet における Albertson⁽³⁾ の実験では $\delta_p/\delta_1 = 5.2$ であるが、図-5の実験結果からは、潜り坑下流部の流れは Free jet とはやや異なるようであり、 $\delta_p/\delta_1 = 6 \sim 7$ である。

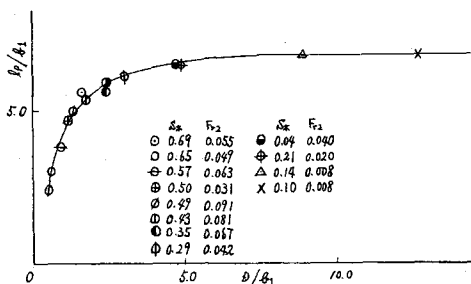


図-5 Potential core の長さ

図-5を片対数紙にプロットすると、 $D/\delta_1 < 4.0$ では

δ_p/δ_1 は直線的に変化していると考えてよく、こ

こでは Potential core の長さに関して次式を提案する。

$$\left. \begin{aligned} D/\delta_1 < 4.0 \text{ では} \\ \delta_p/\delta_1 &= \frac{1}{0.44} \{ 1.81 + \log_e (D/\delta_1) \} \\ D/\delta_1 > 4.0 \text{ では} \\ \delta_p/\delta_1 &= 6.8 \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Potential core 内では流速は一定であり、したがって

(6),(7) 式に含まれる u_{ep} は Potential core 末端 C 点の

流速に等しいと考える。 $\delta_1 \doteq \delta_2 - (D + Y_p)$ として

reattachment point から C 点までの距離は $\delta_p =$

$-\bar{r}e/r_2 = \{(X_p + L_p) - L\}/r_2$ であるから、(9),(10) 式より

u_{ep} を計算できる。したがって、(8) 式を考慮して、(6)

(7) 式により近似的に α, β を計算できる。 X_p, Y_p お

よび L については、筆者らは先に次のような実験

式を与えている。

$$\left. \begin{aligned} \bullet \delta_x (= 1 - D/r_0) < 0.6 \text{ では} \\ X_p &= 0.60 (R_0 - D), \quad Y_p = 0.14 (R_0 - D) \\ L &= 7.3D + 1.62 (R_0 - D) \\ \bullet \delta_x (= 1 - D/r_0) > 0.6 \text{ では} \\ X_p &= 0.36 R_0, \quad Y_p = 0.14 (R_0 - D) \\ L &= 7.3D + 0.94 R_0 \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

6. 流量算定法

以上により、 $W < X_p$ および $W > X_p$ の二種のタイプ

の坑について R_0, R_2 を与えて (1) 式および (3) 式によ

り試算法で流量計算を行なった。なお、断面 1 の

流速分布に関する定数は、図-2 (a),(b) の曲線に示

す平均的流速分布曲線を想定して算出した $\delta_1 =$

$0.81, \delta_2 = 0.82, \delta_3 = 0.79$, および $W < X_p$ の場合は

$E_1 = 0.77, E_2 = 0.69, E_3 = 0.62, W > X_p$ の場合は $E_1 = 0.70$

$E_2 = 0.56, E_3 = 0.48$ を用いた。表-1にその計算結果

を示す。実測流量と計算流量との誤差は、ほぼ 10

% 以内であり、良い結果がえられた。

表-1 計算結果

1) 流量 37.804/s $D=20\text{cm}$ $W=25\text{cm}$					
$R_0(\text{cm})$	$R_2(\text{cm})$	β_1	α_1	計算流量 (l/s)	誤差 (%)
37.85	36.97	1.54	2.08	39.55	4.63
37.23	36.55	1.52	2.06	34.32	9.21
36.84	36.05	1.52	2.06	35.39	6.36
35.94	35.09	1.51	2.04	34.03	9.97
35.13	34.03	1.49	2.04	34.88	7.71
34.26	33.16	1.49	2.03	32.38	14.33
2) 流量 32.804/s $D=20\text{cm}$ $W=10\text{cm}$					
$R_0(\text{cm})$	$R_2(\text{cm})$	β_1	α_1	計算流量 (l/s)	誤差 (%)
39.45	39.03	3.14	9.14	31.22	4.80
39.14	38.35	3.19	9.49	40.58	23.72
35.77	34.99	1.50	2.03	32.01	2.42
35.32	34.15	1.50	2.04	35.51	8.27
34.71	33.70	1.49	2.03	32.17	1.92
34.09	32.69	1.49	2.04	33.51	2.17
33.70	32.18	1.49	2.05	32.92	0.37
33.30	31.62	1.49	2.06	32.28	1.58
32.97	31.06	1.49	2.08	31.81	3.02
32.43	30.55	1.49	2.08	29.85	8.99

参考文献

(1) 上田, 整口: 潜り坑形状と下流部の流れの性状について, 土木学会報 Vol. 44, 65

(2) Schlichting: Boundary layer theory Mc. Graw Hill (1968)

(3) Albertson, Dai, Rouse: Diffusion of jets. Trans. ASCE Vol. 45