

II-84 自由落下水の突入する水路における空気混入

東北大学工学部 正員 ○坂本龍雄
学生員 村上和男

アークダムの中央から自由落下する水が、水クツミヨニに突入する場合に、多量の空気が混入し、その浮力により、落下水流の運動量が著しく減少するニハよく知られている。このような場合の空気混入の現象を説明するに、幅3cm、長さ50cmの長方形断面のノズルから鉛直下方に水を自由落下せしめ、これを幅60cmの長方形断面水路に受け、水深約1cm間における空気混入量、水压、下向き流速について測定を行なった。自由落下水の水面突入速度は 4.25 m/sec である。図-1は実験装置の概要を示す。

水中に空気が混入すると、その混合量に依りて混合体の電気抵抗が増減する、という理論は通用した。ミネソタ大学の方法により、空気の混入量を測定した。水压の測定はピエゾメータを有する平板を流木に挿入することにより、また下向き流速の測定はピトー管を用いて行なった。

図-3は空気混入量、図-4は圧力、と水と水の ρ ロフィルであり、図-5は噴流中心線上の流速である。

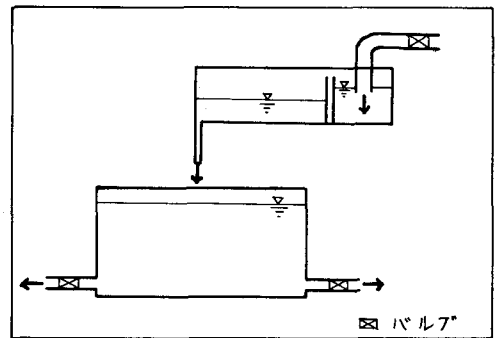


図-1 実験装置

実験結果の整理

自由落下水による空気の混入は、落下水の表面に付着して、空気がそのまゝ進行されること、水面における着しい水の攪乱により空気が巻き込まれること、などが考えられるが、水中において負圧が生ずる場合には、それによる水面からの空気の吸入、水中における気泡の存在が可能とする。

いまアルバートソンに依る噴流の流速を

$$u = u_{\text{exp}} \{-g/(20^2)\} \quad (1)$$

で表わす。噴流中における剪断力は

$$\tau = \rho l^2 (\partial u / \partial y)^2 \quad (2)$$

であるから、 τ_{max} の位置は $y=0$ である。この $y=0$ の点から外側の運動量の増加は $y=0$ の点における剪断力によって生ずるから

$$\frac{\partial}{\partial x} \int_0^\infty \rho u^2 dy = \rho l^2 \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)_{y=0}^2 \quad (3)$$

と仮定する。計算の結果 $-0.3675 u_0^2 \frac{dx}{x} + 0.1390 \frac{du_0^2}{dx} + 0.5074 u_0^2 \frac{dx}{x} = 0.3679 u_0^2 \frac{dx}{x}$ となる。これをポアソニヤルコフの存在する範囲と仮定すれば $du_0^2/dx = 0$ である。また混合距離 $xl = Cx$ とすれば $0.3 = 2.65 C^2 x^2$ となる。これはアルバートソンの実験結果に依り $C = 0.03$ と求められる。

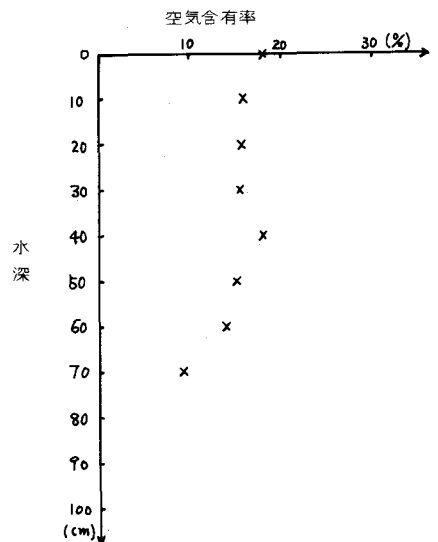


図-3 空気混入量

$C_1 = \frac{v}{u} = 0.1335$ と仮定。一方 アルバートソンは噴流中心の速度測定の結果によるポテンシャルコアの長さ l と噴流の出口点における幅 b との関係から $C_1 = 0.109$ と得ている。

さて 噴流の水平断面における流量の増加は 噴流の外側から流量の供給に等しい。いま ポテンシャルコアの存在する範囲については l と仮定すると 幅 δx の間にコアから出て行く流量は 図-6 により $(u_0 B_0 / x_0) \delta x$ コアの外側における流量の増加は $(\frac{\partial}{\partial x} \int u dy) \delta x$ である。従って 噴流の外側から供給されるべき流量は $(\frac{\partial}{\partial x} \int u dy - \frac{u_0 B_0}{x_0}) \delta x$ である。一方 実際には噴流の外側から供給される流量は $v \delta x$ であり $v = \sqrt{2gh}$ とすれば h は噴流の外側無限遠の位置における水面高さ h と噴流の内部における圧力水頭 h とが等しい。両方の流量が等しく

$$\frac{\partial}{\partial x} \int u dy - \frac{u_0 B_0}{x_0} \leq \sqrt{2gh} \quad (4)$$

の場合には 空気混入の比率は h が 2 式 h の右辺が 左辺より小さい場合には容易に空気が侵入し 圧力水頭の減少が 気泡の存在により保持される。

アルバートソンによれば

$$B_0 / x_0 = C_1 \sqrt{\pi} \quad (5)$$

(4) は次のようになる

$$\frac{\sqrt{\pi}}{2} \frac{du_m}{dx} + \frac{\sqrt{2\pi}}{2} \frac{du_m}{dx} u_m - \frac{\sqrt{\pi}}{2} C_1 u_m \leq \sqrt{2gh} \quad (5)$$

コアが存在する位置においては $\frac{du_m}{dx} = 0$ $u_m = u_0 = 4.25 \text{ m/sec}$

であるが $\frac{du_m}{dx} = C_1$ の値として 前出の値の平均を用い $C_1 = 0.12$ とすれば (5) から $h \geq 0.17 \text{ cm}$ となる。しかし コアのなかつた位置である $x > x_0$ においては (5) の左辺第1項が残り 第3項が消える。図-5の実験値を用い

$$u_m = u_0 \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{x}{x_0} - 2\right)\right\}$$

とすれば $x = x_0$ の位置においては $h \geq 2.06 \text{ cm/sec}$ となる。

$x < x_0$ の範囲においては 圧力水頭の減少が僅か 0.17 cm であり $x = x_0$ で突然 2.06 cm となる。ところが 3 cm であるから $x_0 = 6 \text{ cm}$ とする。 x_0 においては 圧力水頭の減少が 2 cm であるという事は 2 cm に相当する水の体積が 空気で置き換えられており 混合気泡の体積が全体積の33パーセントであることと示している。図-6の曲線は 図-3の測定値に基づいて求めたものである。

参考文献 M. L. Albertson et al Diffusion of Submerged Jets Trans. ASCE Vol. 115 1950

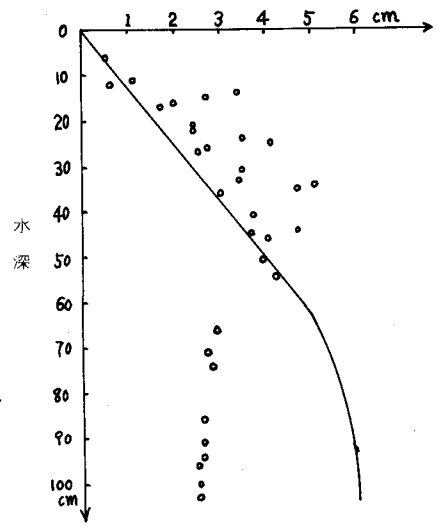


図-4 圧力水頭の減少

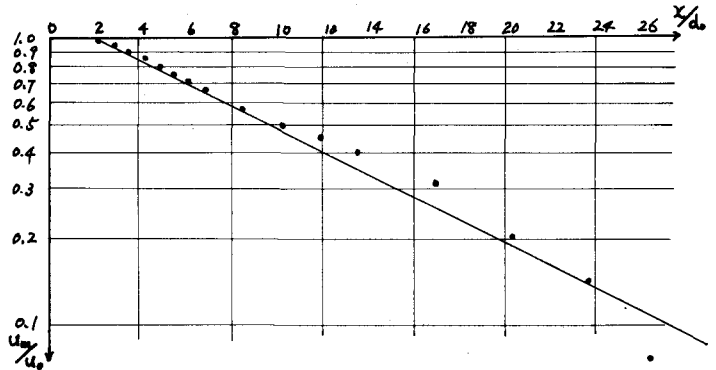


図-5 中心軸上の流速分布

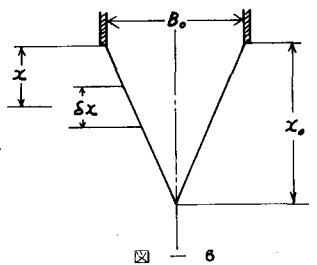


図-6