

気泡混入を伴う節直噴流について

西日本工大 岸 振内 和典 西日本工大 正 石川 誠
西日本工大 正 赤司 信義 山口大学 正 齋藤 隆

1. はじめに

ダムや坑などの落水水は水面に突入する際、突入水深が十分でない場合には、多大な変動水圧を河床に与えることになる。突入水深が十分深い場合は、水撃突入時に混入する気泡群の浮力効果によって、流れは減勢される。現在のところ、水撃の突入によって、どの程度の気泡群が混入されるのか、又気泡の存在によって、どの程度減勢されるのか不明である。水撃の突入による空気混入は、水撃と周囲水との境界面で水面が著しく変動することにより生じるものと考えられるが、本文では水と気泡が一体となって噴出される流れを、気泡率を変えて実験的に流れ特性を検討したものである。

2. 実験装置とその方法

実験装置は幅20 cm、長さ2 m、高さ1 mの鋼板製両面有枠ガラス張り水槽を使用し、水槽中央上部に幅2 cmのノズルを設置した。気泡の混入方法はコンプレッサーより調圧弁、ノズル室へと接続し、調圧弁によって気泡率を調整した。混入空気量 Q_a は送気管(φ6 mm)の途中に長さ30 cmの拡大管(φ26 mm)を設け、拡大管中心にプロバ流速計を設置して、中心流速 U_c を測定し、拡大管内平均流速 $\bar{U}=4.9 U_c/60$ (1/4乗則)とし、 $Q_a=\bar{U}A$ として定めた。水流量 Q は左右の量水槽にて求めた。

3. 実験結果

図2には気泡混入率 $Q_a/Q=0, 0.5, 2, 4\%$ での速度分布を示したが、いづれも自由噴流の速度分布形で近似されることが分かる。本実験ではノズルから床までの距離 H を20, 40 cmと変えて測定したが、その時の気泡流動の概略を図3に示した。気泡群が床に到達しない場合は噴出された気泡群は気泡停滞帯を形成した後、噴出流のごく近くを通過して消えていく。消える気泡の噴出流にまじりこまれる量は非常に少なく下降気泡と上昇気泡との境界は認め易い。気泡流が床に衝突する場合、気泡は水流と共に水平に流動されるが気泡の浮上に伴って流速は急速に減少していく。こ

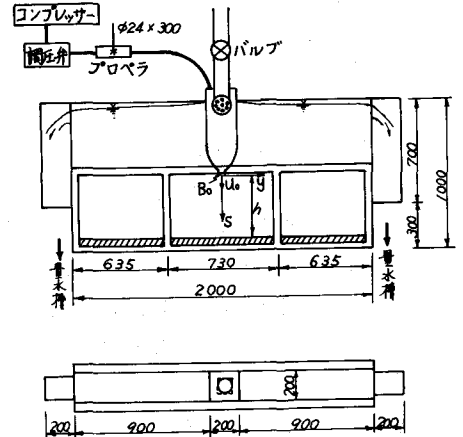


図1 実験装置

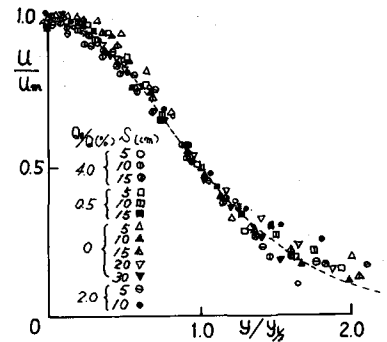
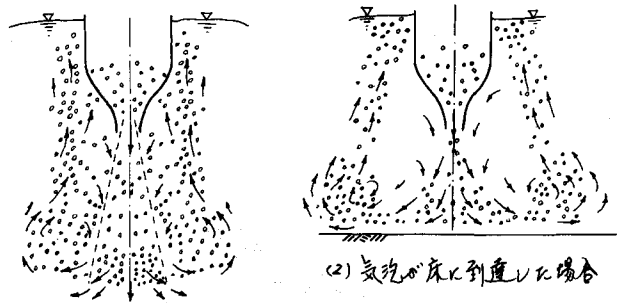


図2 速度分布



(1) 気泡が床に到達しない場合

(2) 気泡が床に到達した場合

図3 気泡流動の概略

の気泡流は下降する噴流に同行される流れの影響を受けて噴流に近づくに上昇する。

最大流速の変化を図4に示した。実験値は $A/B_0=10$ の値であって、気泡の混入率によって流速の減少率は異なり、必ずが数%で急激に減少している。図中 $S/B_0 > 10$ は衝突後の水平流の最大流速をとったものである。図中の実線、点線、一実線、二実線は後述の(5)式で $\sigma=5, 20$ について示したものである。図5は最大流速の噴流幅を示したもので、実線は(7)式である。速度分布形も(1)式で定義すると(7)式となり噴流の拘束係数が一定とすると直線変化となるが、実験結果からは明確に認めにくい。又 σ を一定とすることには若干問題があり、今後検討せねばならない。

密度噴流としての取り扱い

より単純な形で流れを取り扱うため、気泡流の周囲水の密度 ρ_e を一定とし、気泡と水流との相互作用及び浮上する気泡を無視して考える。速度分布及び密度分布を次式で表示しておく。

$$\frac{u}{u_m} = \exp \left\{ - \left(\frac{y}{x+x_0} \right)^2 \right\} \quad \dots (1)$$

$$\frac{\rho_e - \rho}{\rho_e} g = P \cdot \exp \left(- \frac{y^2}{x^2 b^2} \right), \quad P = \frac{\rho_e - \rho_0}{\rho_e} \quad \dots (2)$$

ρ_0 は噴出口での密度を、 u_m は軸上流速を示す。運動量の変化率は単位高さ dy に作用する浮力に等しいこと、又周囲流体が均質である場合浮力流速は0であることより

$$\frac{d}{dx} 2 \int_0^\infty u^2 dy = 2 \int_0^\infty \frac{\rho_e - \rho}{\rho_e} g dy \quad \dots (3)$$

$$\frac{dB}{dx} = 0, \quad B = -2 \int_0^\infty u \cdot g \frac{\rho_e - \rho}{\rho_e} dy \quad \dots (4)$$

上二式に分布関数を導入して(3)式を解くと

$$\frac{u_m}{u_0} = \left\{ C \cdot \left(\frac{x+x_0}{B_0} \right)^{-\frac{3}{2}} - a \right\}^{\frac{1}{2}} \quad \dots (5)$$

C は積分定数

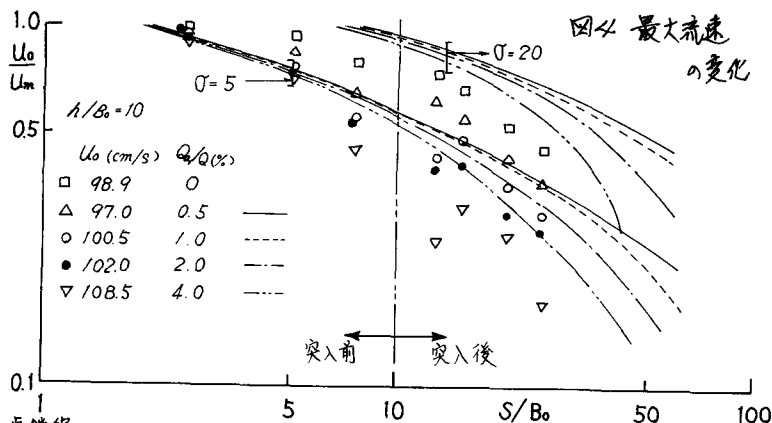


図4 最大流速の変化

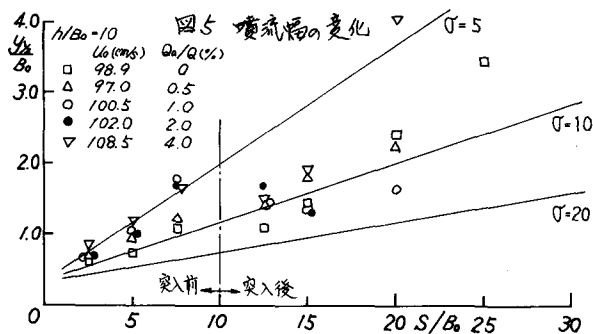


図5 噴流幅の変化

積分定数 C を求めるため $(dM/dx)_{x=0} = -P_0 B_0$ とすると

$$C = \left\{ a + \left(\frac{\sqrt{2}}{\pi} \frac{\sigma}{a} / F_{d0}^2 \right)^{-3} \right\} \cdot \left(\frac{x_0}{B_0} \right)^{\frac{3}{2}} \quad \dots (6)$$

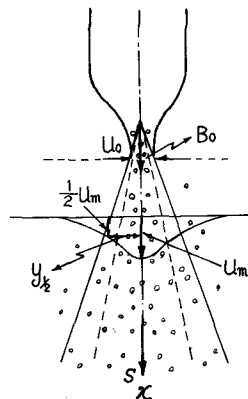
$$a = \kappa, \quad \kappa = \sqrt{2\pi} \cdot \sqrt{1+\lambda^2} \cdot \sigma / F_{d0}^2, \quad F_{d0}^2 = u_0^2 / \rho_0 B_0$$

又、噴流復元原 x_0/B_0 は、噴出口での流量が $Q = u_0 B_0$

なることを考慮して $x_0/B_0 = \sigma / \sqrt{\pi(1+\lambda^2)}$ とする。

又、噴流幅 y_k/B_0 は(1)式より

$$\frac{y_k}{B_0} = \frac{\sqrt{0.693}}{\sigma} \left(\frac{x+x_0}{B_0} \right) \quad \dots (7)$$



4. おわりに

気泡噴流に関する実験を行った結果、噴出流速 u_0 程度では、気泡率わずか数%で、急速に流れが減衰することを見られ、今後さらに検討を進め自由落下水の突入流れと関連付けていきたい。