57 エアレーターから連行された空気の気泡径と濃度について

(株) ニュージェック 小林六郎[○] 神月隆一

On air bubble size and air concentration entrained through aerator

by Rokuro KOBAYASHI* Ryuich KOZUKI*

Aerator for air entrainment has been adopted in spillway structures to prevent possible cavitation erosion on the surface of concrete. So far, many model studies and field measurement have been carried out. This paper describes a measurement of air bubble entrained through aerator in tunnel spillway model. Air bubble sizes were read from visualized air-water flow pictures, the result of which was consistent with ones measured by electric probe method. As a result, it became clear that, by a few visualized pictures, air bubble size distribution after aerator could be estimated.

1. まえがき

ダム貯水池付帯設備の洪水吐きを高速流により引き起こされるコンクリート表面のキャビテーション侵食を防止するために水路底面から流水中に空気を連行させ、底面付近の空気濃度を高める事が効果的である事が従来の研究の結果¹⁾から明らかになっている。水路底面から流水中に空気を連行させるために図-1に示されるような水路構造物(エアレーター)を水路底面に設置する。エアレーター上を流下する高速流により連行された空気泡は水路の底面付近に分布し流下と共に拡散浮上する。矩形断面水路のエアレーターから連行される空気量については従来から模型及び実物に対して多くの知見が得られている²⁾。本研究では、水理模型実験により円形のトンネル洪水吐き(開水路流れ)の底面(円周上)に設置されたエアレーターから連行される気泡の分布を可視化写真により求め、プローブによる電氣的計測の結果と比較した。次に、連行された空気の濃度の底面付近の鉛直方向の分布の流下に伴う変化を計測した。

Fig. 1 Aerator profile

* Overseas Civil Engineering Department, The NEWJEC Inc., 1-20-19 Shimanouchi, Chuo-ku, Osaka 542, JAPAN

2. 水理模型実験

2.1 実験装置

模型装置はトンネル部（内径167mm）及びエアレーター（図-1に示される断面を円周にわたって設置、但し上流側のランプの勾配は底面で1:10、側面で1:∞）から成る。流況の可視化のため全て透明アクリライト製である。実験装置の規模、配置を図-2に示す。

2.2 実験条件

実験条件を表-1に示す。ここに、 Q :流量、 L :ジェット長、 h :水深、 $Fr=v/\sqrt{gh}$ 、 $We=v/\sqrt{\sigma/\rho_w}$ 、 σ :水の表面張力、 ρ_w :水の密度、 g :重力の加速度、 Δp :エアレーター内の圧力低下量を表す。また、トンネル内の流速分布は図-3のようである。ここに、 X はエアレーター溝の上流端から下流を正とする座標を表わす。流速はピトー管により計測し、エアレーター内の圧力は圧力変換器により計測した。

2.3 可視化

水路側面からのストロボ発光（発光時間1/40,000秒、IS 0100）による。気泡径は可視化写真の画像から読みとった。エアレーターの有無による流水中の連行気泡の分布の比較を図-4に示す。

(a) Without aerator

(b) With aerator

Fig. 4 Comparison of air entrainment without/with aerator

2.4 プローブによる計測

測定機器の構成は図-5に示すように流水中の局所抵抗値の変化を電圧の変化に変換し増幅して記録する部分Ⅰと記録された電圧の変動から空気濃度及び気泡径を算出する部分Ⅱとから成る。センサー部は $\phi 0.3\text{mm}$ のクロメッキ鋼線の先端0.25mm部を除いて絶縁した電極を2.0mmの間隔で配置し、流水中に2本の電極が流れに直交するようにセンサーを固

Fig. 2 Arrangement of aerator and measurement sensor

Table 1 Condition of experiment

Q	L	v	h	Fr	We	Δp
lit./s	mm	m/s	mm			N/m ²
62.4	37	3.84	95	4.0	101	245

Fig. 3 Velocity distribution

定した。計測された波形は図-6のようになる。数多くの波形データから電圧のピーク値とその波形の立ち上がりからピークまでの時間の関係をプロットすると図-7が得られる。電極先端を空気泡が通過するのに要する時間 T_i を波形のピーク電圧 V_i より求める。

但し、 T_i と V_i との関係式を次式で近似した。

$$T_i = 2.76 \times 10^{-4} V_i + 9.63 \times 10^{-5} \quad \text{for } V_i > 0.05$$

$$= 0.241 V_i^{-0.223} \quad \text{for } V_i \leq 0.05$$

気泡径分布は気泡が球形であると仮定すると、センサー先端で計測される空間長から次式により算出できる。

$$d_e = \frac{d_j}{\left[\pi / 6 (d_j)^3 \right] / \left[\pi / 4 (d_j)^2 \right]} \quad L_i = 1.5 L_i \quad (1)$$

但し、 d_e :平均気泡径、 d_j :ある気泡の径、 L_i :計測した空間長($=T_i \cdot v$)、 v :流速を表す。

空気濃度は次式により算出した。

$$C = \frac{\sum T_i}{N \Delta t} \quad (2)$$

ここに、 N :データのサンプリング個数、

Δt :データのサンプリング時間間隔を表す。

3. 実験結果および考察

3.1 気泡径分布

図-4(b)の底面上10mmまでの範囲の気泡径の分布を対数確率紙上に描くと図-8のようになる。一方、プローブによる一点での気泡径の計測結果の分布は図-9(a)、(b)のようになる。(a)は $X=120\text{mm}$ 、底面上2.5mmの分布であり、(b)は $X=380\text{mm}$ 、底面上2.5mmの分布を示す。図-8と図-9(a)、(b)を比較すると、気泡径の全般にわたり両者はよく一致する。一方、セン断流中の気泡径をHenry T. Falveyの著書に示された次式³⁾から求めると $d_{95}=1.8\text{mm}$ が得られる。本実験から得られた値2.1~2.2mmはこの値より幾分大きくなっている。

$$d_{95} = 0.725 \left[\left(\sigma / \rho_w \right)^3 / \left(g S_r V \right)^2 \right]^{1/5} \quad (3)$$

ここに、 d_{95} :95%の空気がこの径以下の気泡に含まれる。 S_r :エネルギー勾配、 V_m :平均流速を表す。また、マンニングの粗度係数 $n=0.009$ 、 $V_m=4.84\text{m/s}$ 、径深 $R=0.095\text{m}$ とした。

Fig. 5 Composition of measurement system

Fig. 6 Wave profile measured by electric probe

Fig. 7 Relation between T_i and V_i

Fig. 8 Distribution of air bubble size measured by flow visualization

Fig. 9 Distribution of entrained air bubble size measured by electric probe

3.2 連行空気濃度

空気濃度の計測結果を図-10に示す。分布形は $X=120\text{mm}$ に見られるように水路底面で最大で上方へ徐々に減少する。また、流下に従って水路底面付近での空気濃度が減少する様子が示されている。

Fig. 10 Vertical air concentration profile

4. 結 言

エアレーターから連行される空気の気泡径の分布を可視化写真から求める事ができた。なお、連行気泡径と連行空気濃度との関連について今後研究を進める予定でいる。最後に、本研究を進めるに当たり、神戸大学 寛源亮 教授に深大なる御教示を賜った。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) A.J. Peterka, "The Effect of Entrained Air on Cavitation Pitting", Joint Meeting Paper, IAHR/ASCE, Minneapolis, Minnesota USA, August, 1953, p.p. 507~517
- 2) 例えば N.L. de S. Pinto and S.H. Neidert ; " Evaluating Entrained Air Flow Through Aerators", Water Power & Dam Construction, August 1983
- 3) Henry T. Falvey, "Air-Water Flow In Hydraulic Structures, A Water Resources Technical Publication Engineering Monograph No. 41", United States Department Of The Interior, Water and Power Resources Service, December 1980, p.p. 10~12