

II-249

水路底面のオフセットによる空気連行現象

建設省土木研究所 正員 高須修二

正員 宮脇千晴

まえがき： ダムに設置される洪水吐きでは安全性の中でもキャビテーションによる損傷の防止が重要である。流速が大きくなる程キャビテーションによる影響が大きくなっていくが、危険領域へエアレーションを行えば、局所的な圧力降下が規制され、キャビテーション損傷を防止することができる。水路壁面付近の流れに自然に給気を行うための最も簡単な方法は、壁面に流水から逃げるオフセットを設けることである。このオフセットは流れと空気を接触させ、空気連行を生じさせる。実際にも、このオフセット形式の給気設備が適用された例はあるが、現象の特性は解明されていない。本研究は、このオフセット近傍の空気連行現象を主題とし、その適正規模の算定方法を検討するものである。

1. 模型実験： 実験水路は、100mm、高さが150mmの鋼製管路の下流に等幅の透明アクリル製の開水路を取り付けたもので、開水路底部に50mmのオフセットを設け、その部分に給気用のスリットを配してある。給気は、80mm×75mmの長方形パイプにより行っており、水路底部のスリットは高さ40mmで、水路全幅に設けられている。給気量は給気管の途中に配置した開口面積の異なるオリフィス板により調節し、水脈下方の圧力状態を変化出来るものとした。

実験における主要な測定項目は、流量、給気量、オフセット部の圧力降下量である。流量は管路の上流に設置されている電磁流量計、給気量は熱線風速計、圧力は水柱マノメータにより計測し、それぞれ所要の物理量に換算した。

本研究で対象とするような空気連行現象では、表面張力と水流の乱れとの関係が重要で、現時点では実大規模の実験を行うことが必要である。本実験では最大流速は25m/s程度で、ウェーバ数は 10^8 程度となっており、表面張力の影響については無視出来ると考えられるが、原型と比較すると水脈が薄く、水流およびその乱れの特性との関係が問題となる。また、空気の圧縮性も重要であるが、実験での最大圧力降下量は1.72m水柱、オリフィス板での最大風速は140m/s程度であるため、ここでは考慮していない。

2. オフセット近傍の流れ： 流れがオフセットを通過すると、水と空気の混相流が発達するが、このような状態が維持されるためには連続的な給気が必要である。この領域の圧力値は、空気の流速水頭および給気管内でのエネルギー損失により常に大気圧以下となる。この圧力差は、自由落下曲線となる水脈の軌道を変向させ、水脈下面に形成される空間の長さを変えることとなる。ここで、給気量が空間の長さで流速に比例すると仮定すると、次式が成立する。

$$Q_a = K_1 V L B \quad \text{----- (1)}$$

ただし、 Q_a ：給気量、 K_1 ：比例定数、 V ：流速、 L ：空間の長さ、 B ：水路幅

一方、 L は $F_p \sqrt{2Hh}$ に比例するので、(1)式は次式に変形できる。

$$Q_a = K_q F_r F_p h B \sqrt{2gH} \quad \text{----- (2)}$$

ただし、 K_q ：比例定数、 F_r ： $V/\sqrt{gh}$ 、 F_p ： $F_r/\sqrt{1+\Delta p/\rho_w gh}$ 、

Δp ：圧力降下量、 h ：水脈厚さ、 H ：オフセット量、 g ：重力加速度、

ρ_w ：水の密度

また、給気オリフィス板の開口面積を変化させた時の給気量と水脈下面の圧力降下量の、関係は次式により表される。これは、本実験の範囲では空気の圧縮性を無視出来ることを意味している。

$$Q_a = CA \sqrt{2\Delta p/\rho_a} \quad \text{----- (3)}$$

ただし、 C ：流量係数、 A ：開口面積、 ρ_a ：空気の密度

3. 検討結果： 実験の結果を図1および図2に示す。図中●▲■▼は、オリフィス板の開口面積がそれぞれ38.4, 15.0, 5.4, 2.4 cm^2 のデータを示している。

図1は F_r と F_p の関係を表したものである。実験では、 h および H は固定されているが、無次元量を用いて示しておく。オリフィス板の開口面積が小さい場合、すなわちオフセット部の圧力が低い場合には、 F_r が大きくなると F_p は一定となる。これは、空間の長さが一定となることを意味している。一方、オリフィス板の開口面積が大きくオフセット部の圧力がほとんど低下しない場合は、 F_r に応じて F_p も変化する。オリフィス板の開口面積が38.4 cm^2 の場合の圧力降下量は小さく、空気の流れ水頭に見合っており、給気設備の損失が小さいことを示している。

図2は K_q と F_p の関係を示したものである。 F_p が10より小さい範囲では、 K_q は F_p に応じて直線的に変化している。 K_q が0のとき F_p の値は4程度となるが、これは給気がない場合の値とほぼ同じである。 F_p が10より大きい範囲では K_q は一定となり、その値は0.015程度である。

また、目視による流況観察の結果では、 F_p が小さい範囲すなわち圧力降下の影響が相対的に大きい範囲では、オフセット部に気液混相の渦流が生じている。

これらのことから、給気設備の損失が極めて大きい場合にはオフセット部に空間のスケールに応じた渦流が生じると同時に混入機構が変化して、必要空気量を減少させるものと考えられる。

実際の設備の設計に際しては、出来るだけ多くの空気を流れに混入させることが必要であるので、 F_p が10以上を対象とすれば良い。

すなわち、流れおよび設備の条件が与えられれば、 $K_q = 0.015$ として、(2)式および(3)式から給気量と圧力降下量を求めることができる。

あとがき： 給気設備の設計においては、必要な給気量を与える設備の形状と規模を算定することが重要である。本研究により水脈下面への給気設備の損失に伴う圧力降下の影響がある程度明らかにされ、給気量の算定方法が示された。今後は、水脈厚さおよびオフセット量を変化させた実験により、その影響を検討する予定である。

参考文献： 中沢・宮脇・平山：「高圧ラジアルゲートの底部段落ち部の空気連行量」

土木技術資料27-6, 1985年

高須・中沢・宮脇：「水路底面のオフセットによる空気連行現象」, 第31回水講, 1987

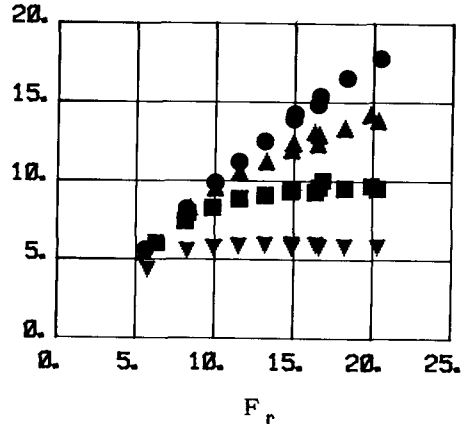


図1 F_r と F_p の関係

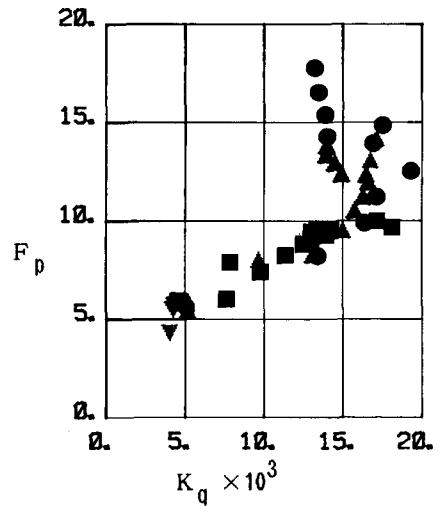


図2 K_q と F_p の関係