

1 落下水の空気混入の実験

東北大学工学部 正員 坂本龍雄
東北大学大学院 学生員 村上和男
東北大学工学部 学生員 吉村 敦

1. まえがき

自由落下水は滝とかアーチダムの洪水吐などに見られる。これらの水脈をみると水脈は空気を含みながら白くなって静水中に噴流となって突入していく。このような空気混入は水脈の突入後のエネルギーの減衰に寄与が大きく貢献している。空気混入のない、いわゆる“submerged jet”に関する拡散現象については多くの研究がなされ、理論と実験がよく一致しているが、それに空気が混入することにより問題はより複雑となっている。複雑な原因としては進行する空気による寄与の影響、密度変化、乱流現象の変化等が考えられる。

本実験においては、空気を含んだ場合と含まない場合の流速分布の比較と、今問題となっている空気量を測定しようとした。双方とも、その傾向を調べるに終わったが、今後更に系統的な研究が必用と思われる。

2. 実験装置

図.1に実験水槽を示す。水槽の大きさは長さ2.00m×(巾)0.6m×(高さ)130cmである。nozzleの直径としてはφ5cmのものとφ2cmのものを使用した。流速計についてはフロントルのピトー管を用いた。空気混入量については図.2に示すように、白金線probeの先端から10,000サイクルのパルス電流を発振させ、その断続を電子計数管で読むことにより測定した。probeはその先端1mm値を尖らし、残りは完全に絶縁し、それを流れ方向と流れと垂直方向に可動できるようにした。発振器にはC140キロサイクルの水晶発振器を用いた。

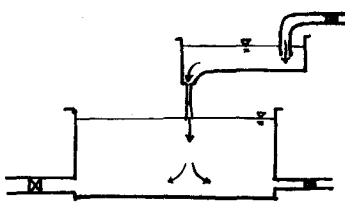


図.1 実験装置の概要

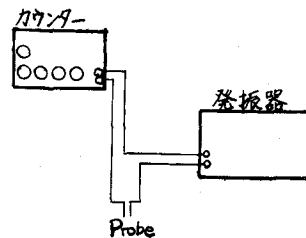


図.2 発振器の回路

3. 静水中突入後の流速

落下水脈が静水中に突入すると、拡散現象により周囲の流体にエネルギーを伝播して水脈自身の流速は減衰する。空気を混入しない、いわゆる“submerged jet”に関する速度分布はAlbertson等の論文⁽¹⁾に述べられている。この論文によると中心線速度分布は二次元の場合、 $v_{max}/v_0 = 2.28/\sqrt{x/d_0}$ 、三次元の場合、 $v_{max}/v_0 = 6.3/x/d_0$ (v_{max} : 中心線速度 v_0 : 初速度)が与えられている。空気が混入している場合にはこれ

より複雑に挙動してゐる。文献(2)によれば、 V_{max}/c と Re との関係を片対数グラフに画くと、すべての測定値はほぼ2群に分かれ、各群はほとんど直線となり、この境界は $Re=25000 \sim 30000$ ($Re=um/dv$) の範囲で定められると思われる。と述べている。

図3は突入する流量を一定にして、nozzleの出口から静水面までの落下高を変えて(替り、10cm, 30cm)測定を行った結果を示す。この図によると、落下高が大きい程、速度減衰が大きく、ヌポテンシャルコア領域が小さくなっていることが分る。これは落下高が大きい程、突入時において空気を多く連行し、かつ落水水脈と空気との混合が突入時において進んでいるためと思われる。この結果自由落水水の速度の減衰には、空気泡による摩擦の影響が大きいことがわかる。

次に水流方向に垂直な断面の速度分布を取ってみる。"submerged jet"については、前述の論文に述べられているように、速度分布の相似性と、その分布曲線が、ガウス分布で近似できることを示している。図4に水深30cmでの空気混入の場合と替りの場合を比較している。図5に替りの場合の速度分布をあらわしている。図4より、空気が混入している方が速度分布が広がっているが、空気混入量の多い方が拡散が大きいとは言えない。

4. 空気混入量の測定

今まで述べてきたように、自由落水水に於ける空気泡の挙動を調べることは非常に重要である。空気の連行の過程は文献(3)に説明されている。これによれば、気泡の連行機構は(i):水脈中に含まれている空気の連行。(ii):水脈と空気との接触による連行。(iii):水脈の揺れによる空気の押込みによる連行。(iv):負圧による連行。の4つに分類している。

本実験では落水水における空気混入量を電氣的に測定した。probeとしては白金線の先端1mm位を尖出させて残りの部分を絶縁状態にし、他方の電極を気泡を含まない水中に置き、水晶振振器により19000サイクルのパルス電流を送り、図2に見られるような回路を作った。このようにして流れるパルス電流を電子計数機によって読み取った。例えば19000サイクルのパルスを10秒間送った場合、100,000と記録されれば、白金電極は完全に水中に在ることを示し、零と記録されればそれは完全に空気中に出ていることを示す。この方法によって測定点の空気混合の平均濃度が測定されるものと見えた。

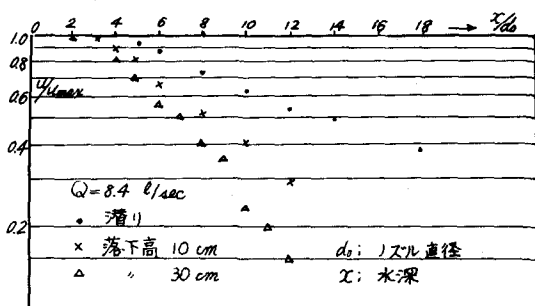


図3 中心線速度の減衰

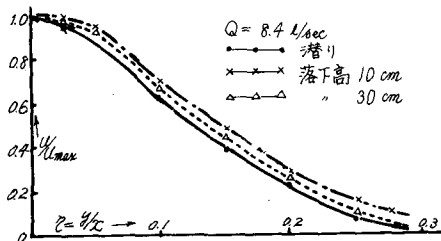


図4 水深30cmでの断面方向速度分布

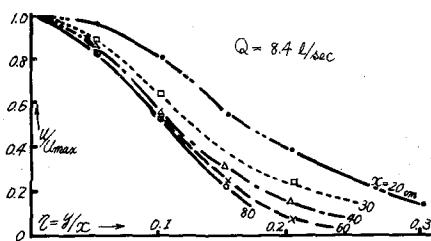
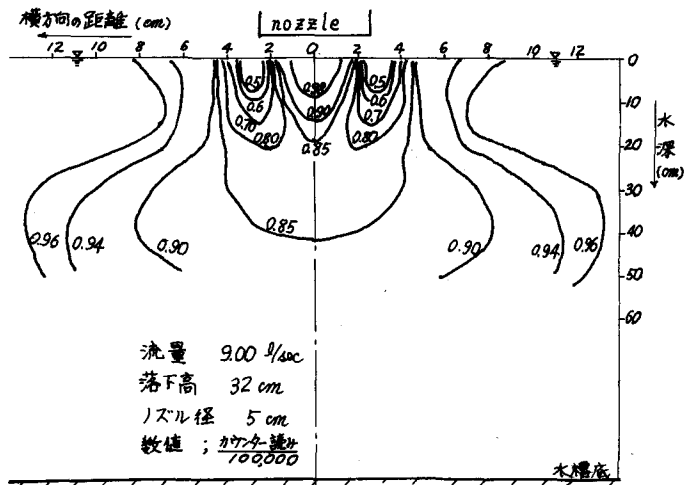


図5 断面方向速度分布

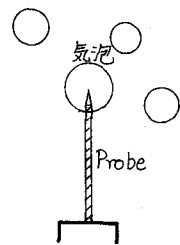
池に空気混入量を電氣的に測定する方法⁽⁴⁾としては、水中に空気が入ることによる水の電気抵抗の変化でもって調べる方法がある。又、静圧と低水槽の水位を比較することにより、水の密度も測る方法もある⁽³⁾。

実験結果を図・6に示す。但しこの結果は発振器の出力によって電子計数値の値が変わって来て、前に述べたような、電子計数値の値が水の空気混入の濃度を



図・6

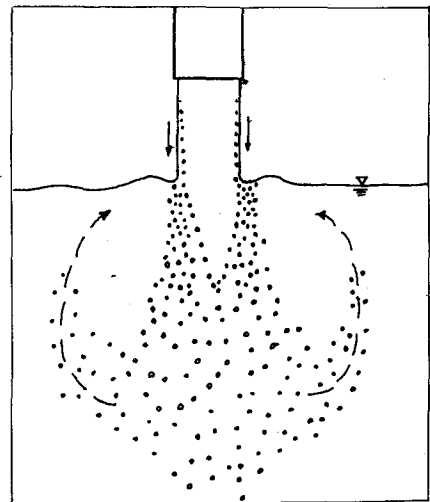
のみまわっているとは思われない。そこで水中での電子計数値の値が、100,000の値になる最低の出力に発振器を調整して実験を行ったが、やはり良い結果は得られなかった。これは図・7に示すような状態になった時にパルス電流が切れるのではなく、両電極間の水中に気泡が入ることによる抵抗の増大によって切れるのではないかという危惧が生じてきた。しかし、空気混入部分をほとんど両電極をできるだけ遠く離して、その間の抵抗を大きくした状態で、パルス電流を流してもパルスがカットされないことが



図・7

り一概に抵抗の影響によるものではないことが分る。図・6は電子計数値の読みから、その値でもって、contour-lineを引いたものであって、これから空気混入量分布の傾向を知ることができる。この図を見ると、落水水脈と空気との境界付近から気泡は飛び込んで、下方に行くに従って、jetの内側と外側に拡散していく過程がみられる。

空気混入状態をよく観察すると、図・8のようになる。観察の結果として、おもしろい結果が得られた。それは、気泡の最大到達距離、いわゆる気泡が完全になくなるまでの水深は、流量を一定にするならば、空気混入量が小さい時ほど大きいことを示している。空気混入量が小さい程、深くまで気泡が到達するということとは、次のように説明される。もし流量が一定ならば、落下高が大きい程、空気混入量が増加し、混入した空気の勢力効果によって、速度減衰が大きくなる。故に、気泡の最大到達距離が小さくなるのである。



図・8 空気混入状態のスケッチ

5. おわりに

今回の実験は、プラントル・ピトー管を用いて、落水水中の速度分布を調べ、次に水晶差振器によるパルス電流を通ずることによって、気泡の濃度分布を調べようとした。前者については、空気混入が静水中に突入後の落水水脈の速度減衰に、大きな影響があることがわかった。後者に関しては、濃度分布の傾向がわかったにすぎない。この傾向によれば、落水水脈によって連行される空気は、jetの境界付近から飛び込んで、下に行くに従って、jetの内外へと拡散していく過程がわかった。目下実験途上であって、空気量の定量的な分析はできていなかったが、噴流の速度とかエネルギーの減衰過程を知る上で、空気混入量が非常に重要な問題となることから、更に一層の検討を要する。

6. 参考文献

- (1) Albertson, Dai, Jansen, Rouse : "Diffusion of Submerged Jet" Trans. ASCE Vol. 115, No 2409, 1950
- (2) 岩崎, 千秋 "静水中に落下する水脈の実験" 土木学会誌 38巻8号 28
- (3) 坂本・藤原・松坂 "静水面上に自由落下する水脈の拡散", 土木学会東北支部技術研究発表会講演概要 1970
- (4) O.P. Lamb, J.M. Killen; "An Electrical Method for Measuring Air Concentration in Flowing Air-Water Mixtures. St. Anthony Falls Hydraulic Laboratory. March 1970