

II-369 壁面近傍に置かれた取入れ口に発生する渦

神戸大学工学部 正員 中山昭彦

1. はじめに

強い吸入力をもつ取入れ口が壁や自由水面の近辺に置かれた場合、竜巻に似た渦糸状の渦が発生する事はよく知られている¹⁻²⁾。この「取入れ口渦」は取水口などの河川、下水構造物のみならずガス、ウォータータービンまた航空機のジェットエンジンの空気取入れ口にも起こりえる現象で、竜巻による災害に見られるように、多大な力学的影響を及ぼし、設計段階で充分に考慮されるべきものである。取入れ口渦に関する実験データや理論的研究は1950年代から現在にいたるまでかなりあるが、渦の発生条件を数量的に明確に示したものはない。そこで本研究はその発生原因と条件を定量的に解明しようとするもので、具体的には図-1の様な平な壁面を境界とする一様流中に軸が壁面に平行に置かれた軸対称またはそれに近い形の取入れ口の回りの流れの場での渦の発生条件を考えるものである。

2. 既存データの解析

渦は吸入流量が大きければ大きい程、取入れ口が壁に近ければ近い程発生しやすい。そこでこの2つの変数からなる無次元数を座標に既存の実験データ³⁻⁷⁾を整理し、渦発生/渦なしの境界を図-2にプロットしてみた。縦軸は取入れ口速度と無限遠での速度の比で、横軸は取入れ口の壁からの相対的位置である。ここに示されているデータは屋外、風洞、水路などで行われた実験を含んでおり、レイノルズ数の幅は広く、壁面上の流れの形態も様々である。また無限遠での流れの方向の取入れ口に対する偏角 B も 0 から 135° と様々である。また渦発生の判定方法もビーズのすいこみを見る方法から実際に静圧を測ったものまでである。実験条件の差がこれほどあるにも拘らず、渦発生の境界は図-2の座標上ほぼ一直線上に乗りその普遍性を示唆している。図上の破線は

$$V_i/V_0 = 24H/D_i - 17 \quad (1)$$

を表しており、渦発生条件の実験的相関関係とみなしてよい。

3. 渦発生限界の数値解析

取入れ口渦の発生の定性的条件としては、Kline⁸⁾の挙げた次の3つの条件がその後の研究者のほぼ全員により基本的に妥当だとされている。すなわち、i) なんらかのかたちで流れの中に渦が存在していること、ii) 壁面に流線の収束する淀み点が存在すること、iii) 壁面から取入れ口方向への「上昇流」が存在すること、である。i) の渦の存在であるが流速分布のわずかな勾配、取入れ口に対する流れの偏角による剝離渦、または、なんらかの乱れによるもので充分と考えられている。iii) の上昇流であるが、ii) の淀み点が存在

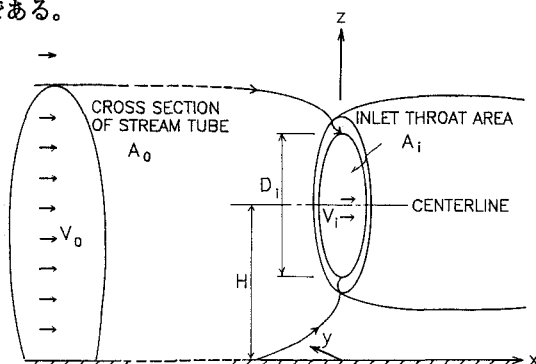


図-1 取り入れ口回りの流れの場

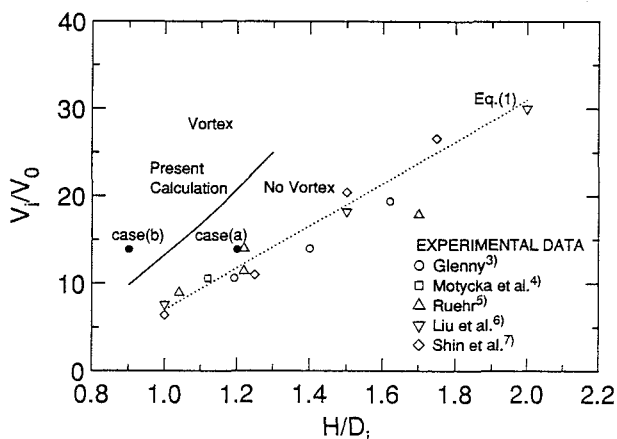


図-2 渦発生限界速度比

する場合必ずあるものである。また渦により誘発される速度成分は渦中心部でのみ大で ii) の淀み点形成の判断には無視して良いとされている。これらの条件を総合すれば、渦発生に最も重要な条件は、壁面の淀み点の存在である。さらにレイノルズ数は重大ではないという実験結果を考慮にいと、渦発生は、ポテンシャル流計算を行い壁面に淀み点が形成されるかどうかを調べる事により判定出来ると考えられる。

上述のポテンシャル流計算をダグラスノイマンというパネル法を改良したプログラムを用い図-1の条件でおこなってみた。その結果の例を二つ図-3に示す。図-3(b)は壁面に淀み点が形成した場合で、3(a)は形成しない場合で渦が発生した場合にあたる。それぞれの計算条件は図-2上で case(b), case(a) とするされてある。流線が何本か描かれてあるが、淀み点が形成しない場合全ての流線は下流に流されているのが見られるが、淀み点が形成した場合、壁面近辺からくる流線は淀み点に集結しそこから取入れ口へ束になって入っている。この部分が発生する渦糸の中心線にあたる。同様な計算を H/D_1 と V_1/V_0 を変えて繰り返す事により渦発生/未発生の境界を見いだした事ができる。この図の実線はその境界の計算結果を示す。実験結果と同じ傾向を示すもののその位置は大きくずれている。この結果の意味するところはポテンシャル流理論が妥当でないかもしくは、上述の Kline の渦発生条件、またはその理解もしくは適応法に問題があるかであると考えられる。

4. おわりに

壁面近傍に置かれた取入れ口に発生する渦に関する既存の実験結果を解析することにより、渦発生条件の普遍性が確認され、その相関関係がみいだせた。しかし、Kline の渦発生条件を基にしたポテンシャル流計算では渦発生条件の実験結果を正確に説明することはできない事も判明した。Kline の条件の見直し、回転流理論による解析法を考えてみる必要がある。

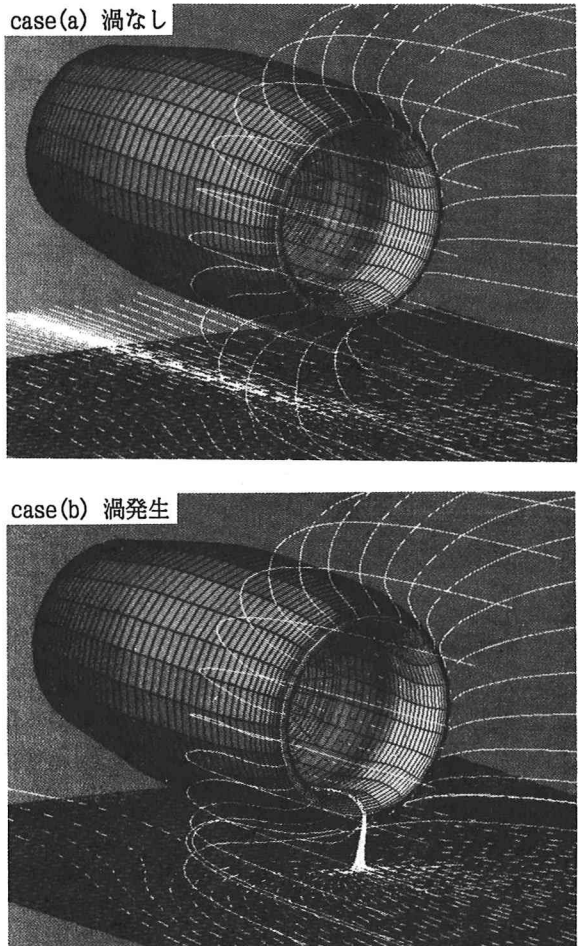


図-3 数値解析結果

参考文献： 1)Rouse, H. : Fluid Mechanics for Hydraulic Engineers, Dover Pub. 1961. 2)宮沢・萩原 : 空気吸込渦の発生割合について、平成2年土木学会全国大会 II-228 3)Glenny, D. E. : A. R. C. Report C. P. No. 1114, 1970. 4)Motycka, D. L. et al. : AIAA Paper 73-1313, 1973. 5)Ruehr, W. C. : G. E. Tech. Rep. R75AEG384, 1975. 6)Liu, W. et al. : J. Engng. Gas Turbine & Power, 107, 387, 1985. 7)Shin, H. W. et al. : J. Fluid Mech., 162, 463, 1986. 8)Kline, H. : DAC Rep. SM-14885, 1953.