気流による室内の微粒子の運動*

鈴木 宏 尚^{*1}, 長谷川 英治^{*2}, 松 藤 久 良^{*1}

Movement of Small Particles Caused by an Air Flow in a Chamber

Hirotaka SUZUKI, Eiji HASEGAWA, and Hisayoshi MATSUFUJI

The movements of small particles, distributed uniformly in an unsteady flow in a square chamber having an inlet and an outlet, are simulated numerically. Particles are classified into three types according to their final state: exhaust type in which the particles are exhausted through the outlet, circulation type in which the particles circulate in the chamber and adhesion type in which the particles adhere to the wall of the chamber. The influences of the initial position of a particle, the Reynolds number R and the dimension ratio N characterizing whether a particle is coarse or fine, on the ratios of the number of particles of each type to the total number of particles are examined. The number of particles of exhaust type has a maximum at a certain N . The particles of circulation type are finally gathered in a certain orbit. The particles of adhesion type adhere to the wall in the vicinity of the stagnation points.

Key Words: Fluid Mechanics, Multiphase Flow, Unsteady Flow, Trajectory, In-Chamber Flow, Exhaust, Collision

1. は じ め に

部屋とか容器内に浮遊しているちりやたばこの煙などのこまかい粒子をとり除く方法の一つはそれらに流入口と流出口とを設けて、新鮮な空気を送り込み、流出口より空気といっしょに浮遊粒子を流出させることである。このような問題は通常の室内空気の浄化の場合のみでなく、例えば、半導体の生産工場のクリーンルームにおいて、発生したじん埃をいかにしてすみやかに除去するかとか、水処理場などの沈降槽において、水中に滞留し続ける粒子を極力減らすために、いかにして槽の底に粒子をすばやく沈降させるかとか、さらに、各種プラントの反応容器において、生産効率を高めるために、反応で生成された容器内の微粒子を、いかにして容器外へすばやく取り出すか、など、工業上の種々の問題に関連し、大切である。このような問題で粒子の排出効率を高めるために留意すべき大切な点は、渦による流れ場の隔離を防ぐため、なるべく渦の少ない流れを作ること、ほこりが部屋とか容器の壁に

たまることを防ぐため、壁に粒子が到達することを少なくすること、そして、ちりの追い出しの操作は、多くの場合臨時的なものであるため、粒子の運動への気流の非定常性の影響を十分調べることである。

ところで、部屋の中の空気の流れは換気の問題そのものであるから、いろいろな場合についてこれまでに研究が行われている⁽¹⁾⁻⁽⁵⁾、また、室内での汚染源からの濃度拡散についても調べられている⁽⁶⁾⁽⁷⁾。しかし、室内の気流とそこに浮遊する粒子の運動の関係については研究が少なく、特に、非定常的室内気流中での粒子の運動については調べられていない。従来の粒子を含む流体の流れについての研究は、物体をすぎる一様流⁽⁸⁾⁽⁹⁾、流路の中の流れ⁽¹⁰⁾⁻⁽¹²⁾、壁の近くの流れ⁽¹³⁾⁻⁽¹⁵⁾などの場合に集中していた。そこで、ここでは、クリーンルームを立ち上げる際の浮遊粒子の除去特性に関連して特に大切であるとみられる、細かい粒子を含む静止している有限の流体空間で、ある時流入口と流出口とを通じて流体を非定常的に流した場合に、粒子がどのような運動をするかを理論的に研究する。その際、特に、粒子の運動の形態とその分類、それらの起きる条件、粒子の壁への付着数、流出口からの粒子の排出数、粒子の考えている空間内の停留数などへの粒子の大きさ、その初期の位置、流れのレイノルズ数の影響

* 昭和62年4月1日 第64期通常総会講演会において講演、原稿受付 昭和61年9月30日。

^{*1} 正員、三機工業(株) (〒100 東京都千代田区有楽町1-4-1)。

^{*2} 正員、慶応義塾大学理工学部 (〒223 横浜市港北区日吉3-14-1)。

などを調べることにする。なお、流れ場の形状については、いろいろな場合が考えられるが、ここではクリーンルームや反応容器を想定し、簡単であり、しかも、これまでに室内気流の問題として研究が行われた⁽¹⁶⁾正方形の二次元的空間において、上部の壁の中央の一部に流入口があり、一方の側壁の下部に流出口をもつ場合を考えることにした。

2. 流体の運動

部屋の形状は、図1に示すように、一辺が $9L$ の正方形とし、上の壁面中央に幅 L の流入口があり、右壁面下部に幅 L の流出口があるものとする⁽¹⁶⁾。部屋の左下隅を原点とし、壁面に沿って右方向に x 軸、上方向に y 軸をとる。混入している粒子は小さく混入量も少ないため、粒子の混入による流体運動への影響はないものとする。流体は密度 ρ と動粘度 ν をもつ非圧縮性の粘性流体とすれば非定常な流体運動の支配方程式は、長さは流入口の幅 L で、速度は流体の代表的流入速度 U で、時間は L/U で無次元化して表すと、

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{\partial u^2}{\partial x} - \frac{\partial uv}{\partial y} - \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{R} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -\frac{\partial uv}{\partial x} - \frac{\partial v^2}{\partial y} - \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{R} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

図1 座標系

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

となる。ここで、 R はレイノルズ数 LU/ν であり、 u 、 v は速度成分、 p は圧力、 t は時間を表す。これらに対する境界条件は、壁面上での粘着条件より、

$$x=0, \quad 0 \leq y \leq 9: u=v=0 \quad (4)$$

$$x=9, \quad 1 \leq y \leq 9: u=v=0 \quad (5)$$

$$y=0, \quad 0 \leq x \leq 9: u=v=0 \quad (6)$$

$$y=9, \quad 0 \leq x \leq 4, \quad 5 \leq x \leq 9: u=v=0 \quad (7)$$

となる。次に、初期条件は、初期に流体は全領域で静止していたものとし、その後ある時刻より、流入口および流出口から一様な流速で流体が流入および流出するものとすれば、

$$t < 0, \quad 0 \leq x \leq 9, \quad 0 \leq y \leq 9: u=v=0 \quad (8)$$

$$t \geq 0, \quad y=9, \quad 4 < x < 5: u=0, \quad v=-1 \quad (9)$$

$$t \geq 0, \quad x=9, \quad 0 < y < 1: u=1, \quad v=0 \quad (10)$$

となる。 $t=0$ の流速として、流体の連続性を満たすような速度分布を与えたものもある⁽¹⁶⁾が、ここでは、文献(2)にもあるように、流入口と流出口以外の速度はすべて零とした。初めに仮定したように、粒子は流体の運動に影響を与えないとしているので、まず、流体の流れを、MAC法⁽¹⁷⁾を用いた数値計算により、支配方程式系(1)～(10)から決定した。その際の計算の格子点の数は 28×28 とし、時間間隔は0.05とした。計算結果の一例として $R=50$ の場合の流れの様子を図2(a)～(c)に示す。それぞれ、時刻が $t=4, 12$ および200の場合を選んである。図中、各流線の流れの関数の値を記しておいた。流れは流入開始から時刻 $t=200$ で十分に定常になった。図2より、流入口の両側で発生した渦が、時間の経過とともに成長しながら下

図2 非定常流れの流線($R=50$)

に降りてくることがわかる。最初に発生した渦という意味で、これらの渦を一次渦と呼ぶ。図2(c)より、流入口から流出口に向かう主流の両側の一次渦のほか、右上・左上・左下のコーナ部にも渦が発生していることがわかる。以後、これらを二次渦と呼ぶことにする。なお、これらの計算結果は増田ら⁽¹⁶⁾のそれらとよく一致することを確認した。

3. 粒子の運動

粒子は小さくまた混入数も少ないとすると、粒子間の相互作用は無視できる。粒子の形は球形であるとし、流体と粒子との相互作用は厳密に言えば、流れの非定常性を考慮した抵抗法則⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾を用いるべきであろうが、ここでは、比較的小さい粒子について考えることにしている。ストークス抵抗法則に従うものとする。また、沈降槽などのように、重力が重要となる場合もあるが⁽²⁰⁾、クリーンルーム内の微小粒子の例を主に想定し、ここでは無視した。粒子の速度成分を u_p, v_p で表すと、半径 a 、密度 ρ_p の粒子の運動方程式は、

$$\frac{4}{3}\pi a^3 \rho_p \frac{du_p}{dt} = 6\pi\mu a(u - u_p) \quad \dots\dots\dots(11)$$

$$\frac{4}{3}\pi a^3 \rho_p \frac{dv_p}{dt} = 6\pi\mu a(v - v_p) \quad \dots\dots\dots(12)$$

となる。ここで、粒子の位置座標を x, y で表示し、それらの時間微分で速度を定義すれば、流体の運動と同様の無次元化を用いて、粒子の運動方程式は、結局、

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{N}{R} \left(u - \frac{dx}{dt} \right) \quad \dots\dots\dots(13)$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} = \frac{N}{R} \left(v - \frac{dy}{dt} \right) \quad \dots\dots\dots(14)$$

となる。ここで N は、部屋の広さに対する粒子の大きさの比率を示す無次元量、

$$N = \frac{9}{2} \frac{\rho L^2}{\rho_p a^2} \quad \dots\dots\dots(15)$$

である。以下では、 N を寸法比と呼ぶことにする。したがって、粒子の運動は、この寸法比 N とレイノルズ数

R によって支配されることになる。この方程式に対する初期条件は、初期に粒子は流体と同じく部屋の内部で静止していたとして、

$$t=0, \quad 0 \leq x \leq 9, \quad 0 \leq y \leq 9: u_p = v_p = 0 \quad \dots\dots\dots(16)$$

とする。計算は、ルンゲ・クッタ法を用いて、時間間隔は流れの場合と同じ0.05とし、流体の計算と同時にを行った。なお、流れ場は $t=200$ でほとんど定常となったので、その後は流体の速度は定常的であるとし、粒子の運動については $t=10\,000$ まで計算を行った。なお、計算中、部屋の壁にいったん行きついた粒子については、その点に付着したまま動かかないものと仮定した。

4. 粒子の軌跡の種類

最近、ランニングコスト低減策の一つとして注目されている、清浄空間の小形化に伴い、部屋の大きさが1m以下のクリーンルームにおいて、流入口の幅が10cm以下で、粒子の径が数百ミクロン以下の場合に相当する、 $N=100$ の例をあげ、時刻が1000までの代表的な粒子の軌跡を図3に示す。ここでは、 $R=50$ で、粒子は初期に室内に均等に分布させた64個(8×8)の点にあったものとして、粒子の軌跡が示してある。図中、黒丸印●で各粒子の初期位置を、白丸印○で最終位置を示した。図3にみられるように、最終的な粒子の状態は、粒子の初期位置によって異なり、大別して、3種類に分けられることがわかる。すなわち、流出口から室外へ排出される粒子、室内で循環し続ける粒子、および室内の壁面に付着する粒子である。以後これらの粒子を、それぞれ、排出粒子、循環粒子、付着粒子と呼ぶことにする。図3の軌跡を排出、循環、付着に分離して、図4(a)～(c)に示しておいた。

さて、これら3種類の粒子の運動形態とそれらの初期位置との関係を調べると、図5のようになる。図5より、排出される粒子は初期に独立した二つの領域から動きだしたものである。一つは初期に流出口付近に集中していた粒子群である。この領域は流出口から細いながらも流入口にまでつながっており、室内を大きく左右に分けている。もう一つは、流入口のすぐ下右側の領域にあった粒子である。図4(a)の排出粒子の軌跡からわかるように、この領域から出発した粒子は、発生直後に右側の一次渦にいったん巻き込まれ、旋回した後に流出口から排出される。次に循環する粒子は、初期に四つの領域から動き出したものである。図2(c)の渦の位置との比較から、それらは右上・左上・左下の二次渦と、左側の一次渦に対応して生じている。

図3 粒子の軌跡 ($R=50, N=100, 0 \leq t \leq 1000$)

図 4 3種類の粒子の軌跡 ($R=50, N=100, 0 \leq t \leq 1000$)

図 5 3種類の粒子の初期における分布 ($R=50, N=100$, ○よどみ点) (排出, 循環, 付着)

もちろん、これらの領域は、循環する粒子の初期位置を示しているのであるから、図 2 (c) の渦の形とは異なっている。付着する粒子は初期に四つの領域から動き出したものである。それらは、排出粒子と循環粒子との領域を隔てるように、また、循環粒子と循環粒子との領域を隔てるように存在する。なぜならば、図 2 (c) と対応させると、付着する粒子は、流れが壁に衝突する点、すなわち、よどみ点の方向への粒子の運動によって生じているからである。なお、図 5 で○印で示した点が、流れが壁に向かうよどみ点である。

5. 排出・循環・付着粒子の比率

前章で定義した排出・循環・付着粒子の数の全粒子数に対する比、 ϕ_e, ϕ_c, ϕ_a をパラメータ R および N の関数として調べてみる。ここで、これらの比とは、初期において室内に一様に分布させた粒子の全個数 n に対する 3 種類の粒子の個数 n_e, n_c, n_a の比率として定義した。すなわち、

$$\left. \begin{aligned} \phi_e &= n_e/n \\ \phi_c &= n_c/n \\ \phi_a &= n_a/n \\ n &= n_e + n_c + n_a \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (17)$$

となる。なお、実際の計算では初期に 17×17 個、すな

(a) $R=50$

(b) $R=100$

図 6 3種類の粒子の比率に及ぼす N の影響

図 7 3種類の粒子の比率に及ぼす R の影響 ($N=100$)

わち、289個の粒子が一様に分布していたものとしてそれらの比率を求めた。各種類の粒子の比率への寸法比 N の影響が図 6 (a), (b) に、さらに、レイノルズ数の影響が図 7 に示されている。なお、これらの図の中に、4 章で述べた、主に、流出口付近にあった粒子が旋回することなしに直接流出口より排出される比率を破線で、理解を容易にするために、示しておいた。6~8 章では、これらの図をもとに、それぞれ、排出・循環・付着の各粒子の特徴についてさらに考察を加える。

6. 排出粒子の初期位置と排出量

粒子の排出量は、図 6 より、ある N の値のとき最大となる。すなわち、 $R=50$ では図 6 (a) より約 $N=20$ のとき、また $R=100$ では図 6 (b) より約 $N=55$ のとき排出量が最大となる。すなわち、流れの場を決定すると、その流れに対してある大きさの粒子がいちばん多く排出されることになり、それより大きくても小さくても排出量が減ることになる。

排出粒子の初期の位置が二つの領域に分けられることは、 $R=50$, $N=100$ の場合について図 5 に例をあげて示したが、パラメータを変えた場合にもこの傾向は共通している。そこで以下では、排出粒子の比率へのパラメータの影響を、各領域ごとに調べる。なお、図 5 において、流入口と流出口とを結ぶ排出される粒子の領域を直接排出領域、流入口のすぐ右下の排出粒子の領域を旋回排出領域と呼ぶことにする。なお、旋回排出量は、図 6 および 7 において、全体の排出量から破線で示した直接排出領域からの排出量を差し引いたものとなる。

さて、直接排出領域の粒子の排出量は、図 6 (a) に破線で示されるように、寸法比 N が 20 以上では寸法比にほとんど依存せず一定になる。このことは次のように考えられる。図 2 で示したように、一次渦が成長し下方へ移動する時に、この領域の粒子は、図 4 (a) において粒子の軌跡が流出口へと直接つながっている

ことからわかるように、渦への巻き込みを逃がれて排出される。すなわち、部屋の中で流れの関数 ψ が、 $0 < \psi < 1$ であるような場所に常にいた粒子である。このような場所では流れの方向は急激には変わらないから、粒子の大きさがある程度細かければ、粒子は初期に近い時期から流体と同じような運動をするからである。しかし、寸法比 N が小さくなると、粒子が比較的大きくなり、粒子が流体とともに運動しにくくなるため、 $0 < \psi < 1$ の流出する流体の流線に沿った運動をする粒子が減り排出量は減少する。次に、直接排出粒子は、図 7 より、 R が大きくなるにつれて減少する。 R が小さい場合は、粒子の軌跡の図 8 (a)~(c) の比較からわかるように、直接排出粒子の領域が非常に広くなり、排出量が多い。 R が大きくなると、粒子の運動方程式 (13), (14) よりわかるように、排出粒子が流体に追従しにくくなることになるから、排出量は R の増大とともに減少するのである。

次に、旋回排出粒子は、右の一次渦によっていったん巻き上げられ、左に旋回し、渦を脱して主流に入り、そのまま流出口から排出される粒子である。したがって、旋回して排出される粒子が存在しうるのは、適度に流体に追従する場合に限られる。したがって、図 6 (a), (b) に示されているように、寸法比 N が小さく流体の流れへの粒子の追従性の悪い場合にも、逆に、寸法比 N が大きく流れへの追従性のよすぎる場合にも旋回排出粒子はほとんど存在しえなくなる。そして、図 5 より、その領域は主流の右側に限られる。また、旋回排出粒子は、図 7 より、ある程度以上の大きさのレイノルズ数になり、適度に粒子の流れへの追従性が失われた場合にも存在することがわかる。

7. 循環粒子の最終軌跡

まず、循環粒子への寸法比 N の影響を調べる。図 6 (a) において循環粒子の比率は、 $30 < N < 50$ で 0 % から約 40 % へと急激に増加し、 $N > 50$ ではほとんど一

図 8 軌跡に及ぼす R の影響 ($N=100$, $0 \leq t \leq 1000$)

定となる。この循環粒子はすべて左側の一次渦中に存在する。いま、寸法比 N が 30 から 50 の付近での急激な循環粒子の変化を図 9 (a)~(c) の粒子の軌跡の図で説明してみよう。図 9 (a) の $N=5$ では、粒子は左の一次渦に巻き上げられた後、下の壁に直接的に衝突している。図 9 (b) の $N=20$ では、粒子は多少時計回りに旋回するようになり、図 9 (c) の $N=70$ では、すべての粒子が下の壁との衝突を回避して左の一次渦内の循環粒子になっている。このように、左の一次渦内での循環粒子が存在するための N のしきい値が存在し、その値は約 30 である。また、 $R=100$ では、それは約 250 となっていることが図 6 (b) よりわかる。これは渦の回転がはやくなるため、しきい値が N の大きなほうへ移行したためである。次に、このしきい値を越えて循環粒子になった粒子群の十分時間が経過した後の様子を調べてみよう。図 10 (a) は、 $N=100$, $t=1000$ の場合を示し、この時刻には、部屋の中に存在する粒子は循環粒子のみであり、それらはすべて 1 本の軌道の上に集まっている。このように左の一次渦によって、粒子の運動は最終的に定常的となる。この軌道は、 N が小さくなるとより拡大し、 $N<50$ では、上述のように、下の壁に衝突する粒子が激増し、循環粒子はなくなっていく。逆に、 N を大きくすると、軌道は縮小

し渦の中心に近づく。その例として、 $N=2000$, $t=10000$ の場合を図 10 (b) に示す。なお、 $N=2000$ の場合の残留粒子の位置は、 $t=1000$ では図 10 (c) に示されているように、まだ、ばらつきがあるが、 $t=10000$ では、図 10 (b) に示したように、粒子群は定常的運動をし、一つの軌道の上に集まる。この場合は、 N が大きいほど、粒子の運動が定常的となるのに時間がかかり、 $N=2000$ の粒子の運動は、 $t=1000$ ではまだ過渡的状态にあったことになる。図 10 (c) で、右の一次渦内にあった粒子が、図 10 (b) ですべて消えているのは上述の理由によるものである。 $R=100$ の場合の循環粒子群の十分時間が経過した後の様子を図 11 (a)~(c) に示す。それぞれ $N=100, 400, 2000$ で $t=40000$ の場合を示している。図 11 (a) では、しきい値 $N=250$ 以下であるため、一次渦中に循環粒子はなく、二次渦の中に軌道があることが明らかにわかる。そのため、図 6 (b) において、 $N<250$ で循環粒子が 10 % 程存在することになる。また、図 11 (b), (c) では、一次渦中と二次渦中の双方に循環粒子の最終軌道がある。一次渦中の軌道が N の大きいほど縮小していくさまは図 10 (a), (b) の場合と同じである。なお、図 11 で、 $t=40000$ まで計算したのは、二次渦内の粒子の運動を定常的とするのに時間がかかったためである。

 図 9 軌跡に及ぼす N の影響 ($R=50, 0 \leq t \leq 1000$)

 図 10 循環粒子の最終軌道 ($R=50$)

図 11 循環粒子の最終軌道 ($R=100$, $t=40\,000$) 図 12 付着粒子の壁面上の分布 ($t=1\,000$)

次に、レイノルズ数の循環粒子への影響を調べる。図 7 より、 $R=5$ の場合は、渦領域が小さいため比率は低く、約 1% になっている。レイノルズ数が大きくなると渦が大きくなり、循環粒子の量はレイノルズ数とともに増え、20 以上では約 40% で一定となる。さらに R が増えると、左の一次渦内の粒子が壁に衝突するようになるので、 $R=60$ 付近で循環粒子の比率が 40% から 1% まで急激に落ちる。このように、一次渦中に循環する粒子が存在しえないようなレイノルズ数のしきい値が存在する。また、 $R>60$ ではふたたび循環量が増えるが、これは、図 3 と図 8 (b), (c) との比較より、二次渦の成長によるものである。

以上のように、上手にパラメータを選べば、部屋の中に浮遊する粒子を非常に少なくすることが可能となる。また、循環粒子は最終的に特定の軌道上を運動するため、その軌道上にフィルタを設置すれば、小さいフィルタで効率よく粒子を捕集できることになる。これらのことは工業的にみて大切であろう。

8. 付着粒子の壁面上の分布

付着する粒子は 4 章で述べたように、よどみ点付近に向かう粒子群であるから、排出粒子と循環粒子の領域の間には必ず存在する。したがって、図 6 あるいは図 7 において、排出粒子および循環粒子の比率が大きい

く変化する所では、その増減に対応して、逆の比率変化を示す。例えば図 6 (b) において、 $5<N<250$ では排出粒子の比率に、 $N>250$ では循環粒子の比率に対応してそれらと付着粒子の比率は逆の変化を示している。したがって、付着粒子の比率についてはすでに 6 章および 7 章で述べたことから想像することができる。そこで、以下では、付着粒子の壁面上の分布に着目し、主な特徴を調べる。

図 12 は、付着粒子の壁面上の分布をヒストグラムで示したもので、丸印○は粒子一個に対応している。これらの図から、付着粒子は流れがよどみ点に向かう付近に多く分布することがわかる。さて、図 12 (a) では、下の壁に二つのピークが現れているが、それらは各々、左右の一次渦に巻き込まれた後に、下の壁に付

着した粒子群を示している。これらのうち右側のピークは、 R を一定にして N を大きくしていくと右側に移動し、 $N=20$ 付近では、図12(b)に示したように、いったん流出口から排出粒子となって消えるが、さらに N を大きくすると、図12(c)に示したように、流出口の上に再び付着する。これは6章で述べた、図6(a)の巡回排出粒子による排出量のピークに対応している。一方、図12(a)で下の壁にあった左側のピークは、 $N=20$ でほとんど一点に集中し、その後、 $N=100$ では、図12(c)に示したように、消えている。これは7章で述べた、 $30 < N < 50$ での循環粒子の急激な増加に対応している。すなわち、図6(a)において $30 < N < 50$ では、右の一次渦付近での排出-付着粒子間の増減と、左の一次渦付近での循環-付着粒子間の増減の現象が、同時に進行している。さらに、図12(c)に示した $R=50$, $N=100$ の状態から、 N を一定にしてレイノルズ数を60に増加すると、図12(d)に示したように、下の壁に、また、ほとんど一点に集中した付着粒子の大きなピークが現れる。これは7章で述べた、左の一次渦内での循環粒子がレイノルズ数60付近で急激に減少することに対応している。付着粒子へと変わる直前の循環粒子は、図10(a)で示したように、ほとんど1本の軌道線上に集まっているので、図12(d)に示すように、下の壁への粒子の付着は、狭い範囲に限られることになる。

以上のように、粒子の付着する場所は特定の比較的狭い壁面に限られることがわかった。このことは、部屋の浄化に関連し大切なことである。

9. む す び

流入口と流出口とをもつ二次元正方形空間内の非定常流れ中に一様に分布させられた微小粒子の運動を、粒子が流体からストークス抵抗をうけるものとして、数値計算によって求めた。その結果、次の結論が得られた。

(1) 粒子の軌跡は、その最終的な状態によって、

排出粒子、循環粒子、付着粒子の三つに分類される。

(2) 粒子の軌跡の種類は、粒子の初期位置、寸法比 N 、レイノルズ数 R に依存する。

(3) 粒子の排出量はある寸法比 N のとき最大となる。

(4) 粒子の排出量、循環量、付着量は寸法比 N が大きくなると一定となる。

(5) 流れの中に発生する渦の中に循環する粒子が現れ、その中で粒子が循環し続けるための寸法比 N のしきい値が求められた。

(6) 一次渦の中に、粒子が循環し続けるためのレイノルズ数 R のしきい値が求められた。

(7) 一つの渦の中では、同じ N の値をもつ循環粒子は、最終的には、特定の軌道線上に集まる。

(8) 付着粒子は流れが壁に向かうよどみ点付近の壁面上にほとんど付着する。

文 献

- (1) 勝田・土屋, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (昭43-10), 49.
- (2) 野村・ほか4名, 日本建築学会論文報告集, 231 (昭50), 73.
- (3) 野村・ほか4名, 日本建築学会論文報告集, 238 (昭50), 59.
- (4) 浦野・ほか4名, 日本建築学会論文報告集, 240 (昭51), 93.
- (5) 吉川・山口, 空気調和・衛生工学会論文集, 5 (昭52), 55.
- (6) 田中・村上, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東北), (昭57-10), 303.
- (7) 石津, 空気調和・衛生工学会学術論文集, 17 (昭59), 481.
- (8) Michael, D. H., *J. Fluid Mech.*, 31-1 (1968), 175.
- (9) Healy, J. V., *Phys. Fluids*, 13-3 (1970), 551.
- (10) 辻・ほか2名, 機論, 49-445, B (昭58), 1850.
- (11) 峯村・ほか2名, 機論, 51-471, B (昭60), 3506.
- (12) 長谷川・寺田, 機論, 52-476, B (昭61), 1593.
- (13) 松藤・長谷川, 機論, 46-409, B (昭55), 1647.
- (14) 松藤・長谷川, 機論, 47-420, B (昭56), 1467.
- (15) 松藤・長谷川, 機論, 52-474, B (昭61), 549.
- (16) 増田・ほか3名, 空気調和・衛生工学会論文集, 13 (昭55), 107.
- (17) Harlow, F. H. and Welch, J. E., *Phys. Fluids*, 8-12 (1965), 2182.
- (18) Hinze, J. O., *Turbulence*, 2nd ed., (1975), 460, McGraw-Hill.
- (19) 松藤・長谷川, 機論, 46-402, B (昭55), 263.
- (20) 藤原・広瀬, 機論, 50-450, B (昭59), 381.