

乱流中における固体粒子の Lagrange 的運動特性について

京都大学工学部 正員 工修。今 本 博 健
京都大学大学院 学生員 工修 井 上 和 也

流体運動における Lagrange 的特性は、乱流拡散現象と密接に関連しておりきわめて重要な問題であるが、従来の取り扱いにおいて Lagrange 的特性を直接説明しようとするものはほとんど見られず、多くの場合、乱流拡散過程の特性より逆算するが、あるいは、Euler 的特性より間接的に求められているに過ぎない。本研究は雨水路流れにおける乱流拡散過程を説明するための基礎として、雨水路流れにおける自由表面上を浮流する固体粒子の運動を観測することにより、Lagrange 的運動特性を実験的に究明しようとするものである。

1 計測および解析

実験水路は、長さ 16 m、巾 25 cm、深さ 35 cm のビニール樹脂製滑面直線水路であって、路床こう配は 1/500 に設定されている。自由表面上に発泡ポリスチレン製の固体粒子を浮流させ、その運動軌跡を写真計測により求めた。写真計測によって計測される範囲は粒子の流下距離にして、約 1.5 m であって、統計的处理に対してあまりにも短いため、計測繰り返し数を 100 とし、Lagrange 相関係数およびスペクトル密度としてそれぞれの平均値を用いることにする。

時間間隔 $\tau (=0.05 \text{ sec})$ ごとの粒子の変位量より算定される i 番目の粒子速度 U_i を用いると、相関係数は次式により計算される。

$$R(\tau) = \left[\sum_{i=1}^{N-n} (U_i - \bar{U})(U_{i+n} - \bar{U}) \right] / \left[\sum_{i=1}^{N-n} (U_i - \bar{U})^2 \cdot \sum_{i=1}^{N-n} (U_{i+n} - \bar{U})^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

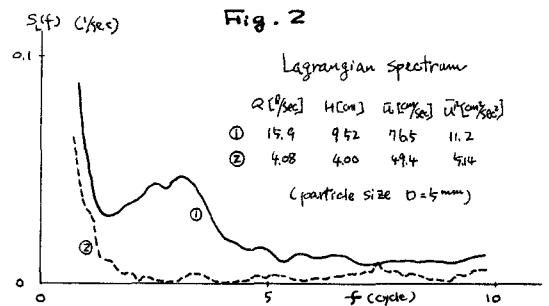
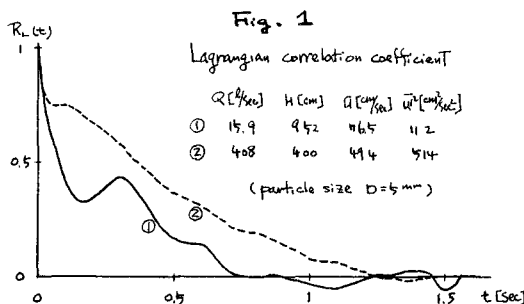
($n=0, 1, \dots, N-1$)

ここに、 $\bar{U}$ は平均流速、 N はデータの総数である。

一方、スペクトル密度は、一回当りの観測時間が短かすぎ、Tuley の方法は用いられないが、直接的に次式より計算される。

$$S(f) = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N U'_i \cos 2\pi f t_i \right]^2 + \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N U'_i \sin 2\pi f t_i \right]^2 \quad (2)$$

ここに、 $U'_i = U_i - \bar{U}$ 、 f は周波数である。



3. 計算結果ならびに考察

Fig 1は Lagrange相関係数の計算結果の一例を示したものである。この図より④の場合、 $t \sim 0.3$ 秒附近で相関係数の値が大きくなっているが、このことは、粒子の変動速度中にほぼ0.3秒の周期の変動が多く含まれていることを示すのに対し、②の場合にはこのような周期は認められない。また、①の場合は、 $t > 0.8$ 秒、②の場合は $t > 1.2$ 秒で相関係数の値が0に収束しているようであるが、この値については観測時間が短かく、長周期の変動がとらえられていないことを考えると、あまり信頼できない。既報¹⁾において示されているように、粒子の変位の分散は時間 t に比例して増大しており、いわゆる拡散のオ1領域にあって、このような観測時間内では、相関係数の値が0に収束はしていないことを示しているからである。したがって、拡散にとって重要な Lagrangian integral time scale などはこの図から得ることはできない。今後さらに観測時間の長い実験を行い、これらについての研究を進めたい。なお、粒径の異なる場合の相関係数は、Fig 1とほぼ同様であって、顕著な差は認められなかった。

Fig 2は、流量が15.9%, 4.08%, 粒径5mm の場合の正規化された Lagrange スペクトルである。④の場合には $f \sim 0.3$ cycle 附近でスペクトルにピークが現れているが、②の場合にはピークは現れない。これは、実験ケースが少ないため系統的に論ずることはできないが、粒子の変動速度を構成する各成分の比が、とくに低周波数領域で流量(平均流速)といったマクロな水理条件に強く関係することを示すものと考えられる。

Fig 3は、流量が15.9%における4種の粒径に対する Lagrange スペクトルを示したものである。この図に見られるように、いずれの粒径にも $f \sim 0.3$ cycle の近傍でピークが現れており、このことよりピークの有無およびその周波数は、実験に用いた粒径の範囲では、粒径に関係しないといえる。またスペクトル全体の形については、前報¹⁾の考え方によれば、粒径の影響はとくに高周波数領域で現われ、粒径が大きくなるに従い低周波数領域にも及び、スペクトル密度の値を減少させるのであるが、Fig 3 では高周波数領域でのスペクトル密度が小さく、このような差異を論ずることは困難である。

Fig 2, 3 で、いずれも高周波数領域で、スペクトル密度が一定値に近くなっているが、これは、粒子の変動速度の特性ではなく読み取り時間間隔が大きいためであると考えられる。したがって、十分細かい変動をとらえるには、読みとり間隔をさらに小さくする必要がある。

Fig 2, 3 で、いずれも高周波数領域で、スペクトル密度が一一定値に近くなっているが、これは、粒子の変動速度の特性ではなく読み取り時間間隔が大きいためであると考えられる。したがって、十分細かい変動をとらえるには、読みとり間隔をさらに小さくする必要がある。

参考文献: 岩佐, 今井, 井上, 白砂 "南米諸流の自由表面上における固体粒子の拡散特性について" オ11回水理講演会講演集

Fig. 3

