

1997年度 秋期研究発表会講演論文集

日 時 1997年11月25日 (火)
11月26日 (水)
会 場 中央大学駿河台記念館
(東京都千代田区神田駿河台3-11-5)

粉 体 工 学 会

京都市左京区田中関田町 2-7

〒606 思文閣会館33号

TEL. 075-751-0195, 075-761-7123

FAX. 075-751-2851

B-14 「研究報告」

固気二相流の離散値系ウェーブレット逆変換解析(第2報)

——スパイラルフロー中の不規則性挙動粒子のリダクション——

日本大学理工学部 ○武居 昌宏 鹿児島大学工学部 李 輝
東京大学生産研 趙 耀華 日本大学理工学部 越智 光昭
法政大学工学部 斉藤 兆古 白百合女子大学 堀井 清之

1. 緒言

筆者らはスパイラルフロー¹⁾を用いて気流の速度分布を制御することにより、その流体力を受ける粉粒体の挙動を制御することを試みており、管壁への低接触輸送や低圧損輸送といった未来的な輸送方法の可能性を模索している²⁾。そして、その気流の速度分布と粉粒体の速度分布との関係を明らかにすることは、このような輸送方法の確立に対して大きな指針を与えるものと思われる。

現在までそのような固気二相流の速度分布の関係を求める方法としては、気流の速度分布から粉粒体の速度分布を求める順問題を扱う方法が一般的である。最近になって、著者らは従来にない非常に新しいアプローチとして、粉粒体挙動から気流の速度分布を推測する逆問題解析について、その基本的なアイデアを報告した³⁾。このような逆問題解析は大きく分けて2段階からなり、すなわちそれらは、規則性と不規則性とからなる粉粒体の挙動から、不規則性挙動粒子のみをリダクションして、規則性挙動粒子のみの速度分布を類推する第1段階と、その規則性挙動粒子のみの速度ベクトルから気流の速度ベクトルを推測する第2段階である。

本研究では、その第1段階に焦点を当て、離散値系ウェーブレット逆変換と多重解像度解析を用いて不規則性挙動粒子をリダクションし、規則性挙動粒子の方向性のみを抽出する手法を提案する。

2. 実験

実験装置はFig. 1に示した通りであり、長さ1.5m内径41mmの亚克力製垂直管の下端部に、スパイラルフローを生成するための特殊形状ノズルを設け、エアコンプレッサを用いて圧縮空気を供給し、管路内に旋回流を生成するものである。そのノズル下端には負圧域が生じ、直径6mmの発泡スチロール球が自然吸引される。垂直管の上端部には、CCDカメラを備え付け、粒子の挙動の軌跡を記録した。

空気供給量は 8.7×10^{-2} [m³/min]であり、この値から求めた管路内の平均気流速度は1.1 [m/s]であり、レイノルズ数は 3.0×10^{-3} であった。

スパイラルフローは自由渦領域の大きな旋回流であるので、管路内に供給された発泡スチロール球は、重力と抗力とのバランスにより、垂直管のほぼ一定の高さの断面内で、管壁とあまり接触せずに旋回運動を呈する。

Fig. 2は、球が鉛直方向にバランスをとって旋回挙動を呈した高さ(ほぼ0.8m)において、ある瞬間の数個の球の速度ベクトルを示したものである。この図において、後述の計算を容易にするために、円管を縦方向に16点、横方向に16点の格子点を等間隔にもった矩形管路に置き換えて、その内部に球の速度ベクトルを表示した。この図全体からは、球が反時計回りの旋回挙動を呈していることがわかる。また、一部の粒子については、ウェークや衝突などの影響により、不規則的な挙動を示すことがわかる。

Masahiro TAKEI 03-3259-0749, Hui LI, Yao-Hua ZHAO, Mitsuaki OCHI,
Yoshifuru SAITO, Kiyoshi HORII

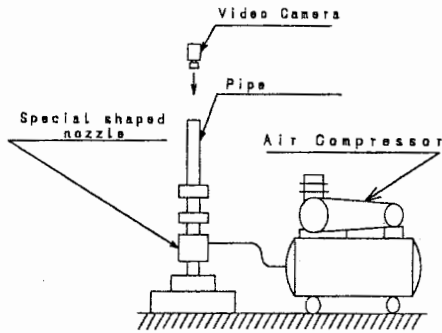


Fig.1 Experimental equipment

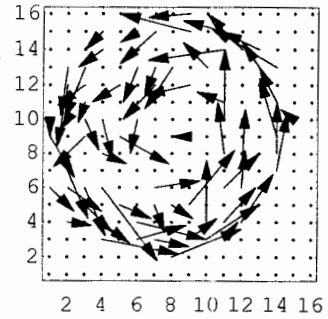


Fig.2 Velocity vector of particles

3.解析方法

まずはじめに、Fig.2の実験により求められたある瞬間の粒子速度ベクトルデータについて、離散値系ウェーブレット変換を行い、ウェーブレットスペクトラムを求める。次に、そのスペクトラム部分ごとに離散値系ウェーブレット逆変換を施し、多重解像度解析を行う。そして、各レベルにおいて、速度ベクトルデータがランダムであるものを不規則性挙動粒子の影響と見なし、そのレベルを削除して、残りのレベルをすべて加えて、規則性挙動粒子の方向性のみを抽出する。

2次元の離散値系ウェーブレットスペクトラム S は、

$$S = Wn \cdot H \cdot Wn^T \quad \dots\dots(1)$$

のように、縦方向のウェーブレット変換について粒子速度ベクトル H の左から基底関数 Wn を掛けて求め、横方向のウェーブレット変換については H の右から Wn の転置行列 Wn^T を掛けることで求まる⁴⁾。これにより、2次元ウェーブレットスペクトラム S のマザーウェーブレットスペクトラム周辺に特徴のある成分を集めることができる。

なお、本研究においては基底関数として4次ドビッシー(Daubechies)関数を用いた。

4.解析結果

Fig.2の粒子速度ベクトルデータを x 方向、 y 方向それぞれについて離散値系ウェーブレット変換を行ったウェーブレットスペクトラムは、Fig.3 (a)(b)に示した通りである。これらの図は、大きさを濃淡で表しており、白くなるほど値が大きくなることを示している。また、Fig.4はそのスペクトラムベクトルの大きさを示したものである。これらの図から、特徴のある成分が、マザーウェーブレット(1,1)近傍に集中していることがわかる。

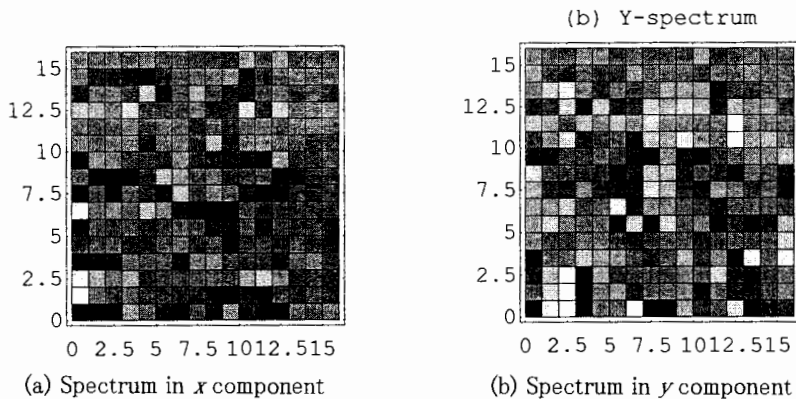


Fig.3 Wavelet spectrum

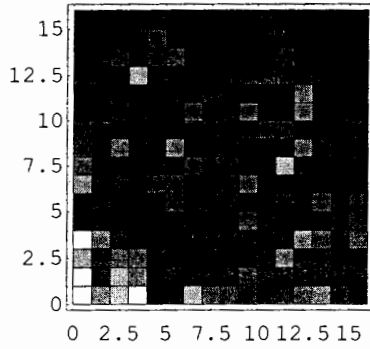


Fig.4 Spectrum magnitude

Fig.5 はFig.3からの多重解像度解析の結果である。(a) は領域の分割数を1としたもので、マザーウェーブレットによるベクトルであり、粒子全体の速度の平均的な方向を表している。(b) は全体を4分割した場合の各領域におけるベクトルの方向を表す。以下、領域の分割数を増加した場合の各部分における粒子速度ベクトルの方向を表している。

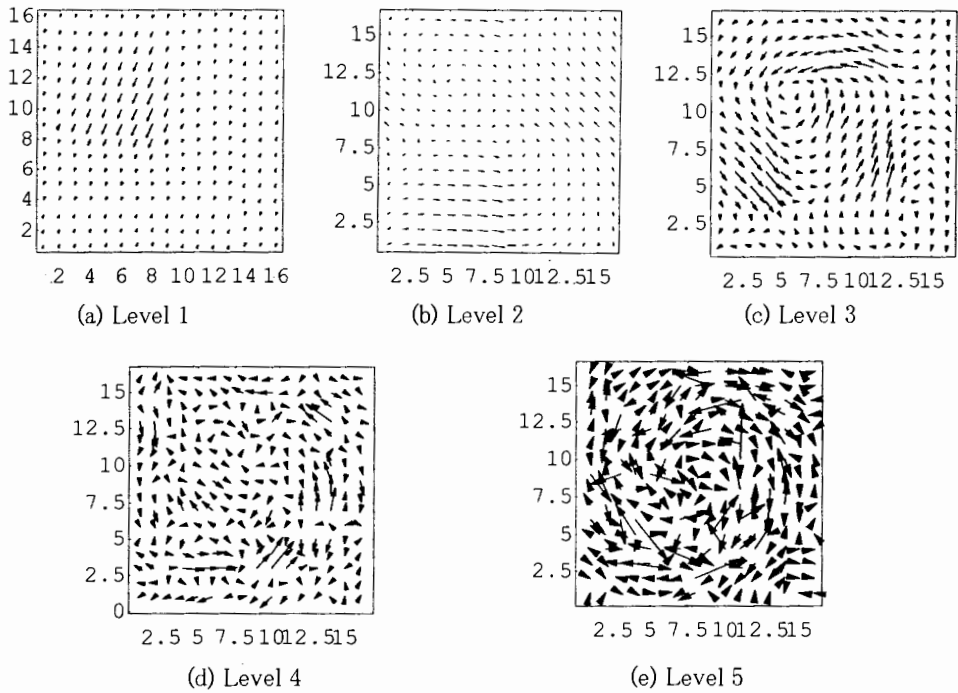
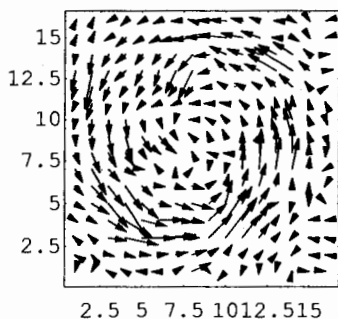
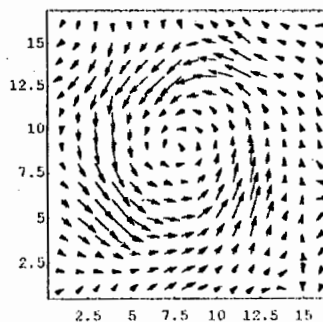


Fig.5 Multi-resolution analysis

Fig.5 において、(e) Level5は明らかにランダムな方向のベクトルであるので、これを不規則挙動粒子の影響とみなし、このレベル5を削除し、Level 1からLevel 4までを加えたものが Fig.6(a) である。さらに(d) Level4も不規則挙動粒子の影響とみなして、Level 1からLevel 3までを加えたものが、Fig.6(b) である。これらの図から、不規則性挙動粒子が除去され、規則性粒子挙動の方向性が類推できることがわかる。



(a) From Level 1 to Level 4



(b) From Level 1 to Level 3

Fig.6 Recovered vector data

5. 結言

固気二相流中の粉粒体の速度ベクトルについて、離散値系ウェーブレット逆変換と多重解像度解析を用いて、不規則性挙動粒子のリダクションを試みた。

その具体的な方法は、粒子の速度ベクトルに対して離散値系のウェーブレット変換を行い、そのウェーブレットスペクトラムを求め、そのスペクトラム部分ごとに逆変換を施し、各レベルにおいて速度ベクトルがランダムであるものを不規則性挙動粒子の影響と見なし、そのレベルを削除して残りのレベルを加えるというものである。

その結果、固気二相流中の不規則性挙動粒子が除去され、規則性挙動粒子の方向性のみが抽出された。

参考文献

- 1) Horii, K., *Mechanical Engineering - ASME*, Vol. 112, No. 8, pp68-69 (1990)
- 2) Takei, M. et al., *ASME FED*, FEDSM97-3629 (1997)
- 3) 武居 昌宏他, 可視化情報学会誌, Vol.17, No.1, 65-68(1997)
- 4) 齊藤兆古, 電気学会論文誌A, Vol. 116A, No10, pp833-839(1996)