



若者

固気二相流の粒子流動

田中 敏嗣*

1. はじめに

私は大学院から現在まで固気二相流の研究に従事して参りました。固気二相流とは気流中に固体の粒子が混ざった流れのことで、工業的には粉粒体の空気輸送装置や流動層などで見られる流れが典型的なものです。ここではその研究を簡単にご紹介するとともに、新米の研究者がその過程で感じたことなどを交えて記していきたいと思います。

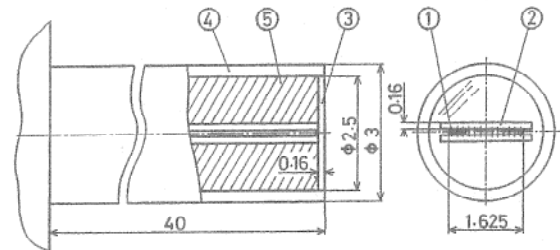
2. 最初のテーマ

大学院に入って与えられたテーマが、光ファイバを使って粒子の流速測定をしろ、というものでした。当時、私の所属している研究室ではLDV(レーザー・ドップラ流速計)を用いて、既に管内固気二相流の気流速度と粒子速度の同時測定が行われており、森川敬信先生、辻裕先生らにより粒子の添加による気流の乱流特性の変化に関する重要な研究が行われていました。しかし粒子濃度の大きな流れの場合通常のLDVではレーザー光が透過しないのでその適用は粒子濃度の希薄な場合に限定されていたのです。光ファイバによる測定というのは、すなわち、光ファイバでプローブを作製し、そのプローブを流れの中に挿入して内部の流れを測定しようということです。幸い、流動層中の粒子の流れを光ファイバで測定している論文があり、それを参考にすることになりました。



*Toshitsugu TANAKA
1959年11月5日生
1984年大阪大学大学院修士課程修了
現在、大阪大学工学部産業機械工学科、助手、工学修士、流体工学
TEL 06-877-5111(内線5127)

研究ではLDVなどによる測定でも、多くの独自に開発した装置などが用いられ、市販のものを使うだけということは少ないものです。しかしその時の私のテーマでは測定用のプローブから基本的な信号処理系まで新たに作製する必要がありました。作製したプローブは図1の様なものです¹⁾。光ファイバを端を揃えて直線状



① 石英光ファイバ、 ②③ ガラス板
④ ステンレスパイプ、 ⑤ エポキシ樹脂

図1 光ファイバプローブ

に並べておき、一つおきに粒子を照らす投光用のものと反射光を受ける受光用のものに分けます。粒子がプローブ先端をファイバの並びの方向に運動すれば各受光用ファイバから得られる反射光信号には時間遅れが生じますので、これらの信号から粒子速度が求められます。実際の測定では電気回路を用いてこれらの信号を粒子速度に比例した周波数をもつパルス信号にアレンジし、周波数解析器でその周波数を分析しました。

まずプローブ作りにてこずりました。まず、2 m程度の長さのプラスチックの被覆の付いた石英光ファイバを端部の被覆をはずし、専用のカッターで端面をきれいに切断したものを端面を揃えて並べます。この作業がなかなか旨くいきませんでした。光ファイバは髪の毛ほどの細さのもので簡単に折れてしまいます。失敗を

重ねながら、顕微鏡とルーペをのぞき込んで根気のいる作業を続けたことを思い出します。

測定系が完成し、取り合えず信号が得られるかどうかの確認をするために、粒子を入れた容器の中にプローブ先端を突っ込み手で動かしてみました。するとシンクロスコープ上の波形が手の動きに応じて振動するではありませんか。これが研究を始めて、最初に体験した大きな感動だと思います。さらに、回転円盤上に粒子を貼り付けた検定装置を用いて検定を行いました。その結果計画どりの信号波形が得られていることが分かり、その周波数が粒子速度に比例することが確認できました。

これらの測定装置を開発している段階では、どの様な流れにこれを適用すのかなどといったことはまったく頭の中にはなく、ただ自分の作った測定装置で本当に測定ができるのかという不安のみでした。測定装置が完成してから、さてどういう流れを測定しようかと考えたわけです。結局、まずは水平管内の流れの測定を行うことにしました。水平管内では低流速時には重力の影響により管の下部の濃度が非常に高くなります。測定では反射光信号の数を数えることにより粒子濃度の測定も行ない、管断面内の粒子流動の測定を行いました。

この過程を通じて、実験装置の作製や計測装置を開発したりといったことが自分でもできるんだという自信と面白さを感じることができました。

3. 管内固気二相流の測定

その後、同様の測定装置を用いて、鉛直管や曲管内の測定を行いました。もともと固気二相流は測定が困難なため、粒子流動に対する詳しい測定データは少なく、ここで得られた測定結果はそれなりに価値があるものと思っています。しかしこれらの測定を通じて私が感じたことは、この流動現象は限られた実験を通じて一般的な理解に到達することは難しいなということです。といいますのは、流動に対して影響をもつ固体粒子に関するパラメータが非常に多く、例えば粒径、粒径分布、密度、形状、反発係数、摩擦特性などが挙げられます。固気二相流に関する

現象の取扱を困難にしている要因はこのパラメータの多さにあると思います。実験においてこれらを独立に制御することは困難であり、どうしても限られた条件での断片的な情報しか得られません。

測定で得られた結果を数の限られた過去の測定例と定量的な比較を行おうとした場合、この壁にぶつかります。もっとも厄介であったのが鉛直管内を上向きに流れる場合の粒子濃度分布です。過去の測定例を見ますと定性的な傾向さえ、一様なもの、管中央に粒子が集中するもの、管壁近くに集中するもの、さらに条件により変化するものと、明かな傾向は見いだせません。私の実験においても同じ実験装置と同じ粒子を用いた実験で二種類の濃度分布が得られました。最初はすべての測定で管壁付近に粒子が集中する結果が得られていたのが、しばらく時をおいて測定を再開したところ逆に管の中央に集中する傾向が得られたのです。このときには、これらの実験が行われた時期が冬と夏であったので、冬には空気の乾燥による粒子の帯電が管壁に粒子を集中させたのではないかと推測しました。実際、冬にこの様な実験をすると粒子が帯電していることは容易に観察できます。そこで、実験装置に空気の湿度をコントロールする装置と粒子の帯電量の測定装置を加えて測定を行ったのですが、粒子が壁面に集中する傾向は再現することはできませんでした。この実験を行なった当時はその理由をつきとめることができず、結局、粒子の帯電の効果を調べた実験の範囲内では粒子濃度分布への帯電の影響はなかったとして、その測定結果を発表しました。

今になって思うのです、異なる濃度分布の原因が管と粒子の表面状態にあったのではないかと。新しい実験装置では管の表面は清浄ですが、実験を繰り返す内に汚れてくるはずですが。そのため、実験の初期の段階では粒子の帯電量はさらに大きなものになっていた可能性があります。その実験をやっていたときになぜそんな簡単なことに気付かなかったのか、悔しく思います。

4. 数値シミュレーション

上の例からも分かっていたいただけるかと思いま

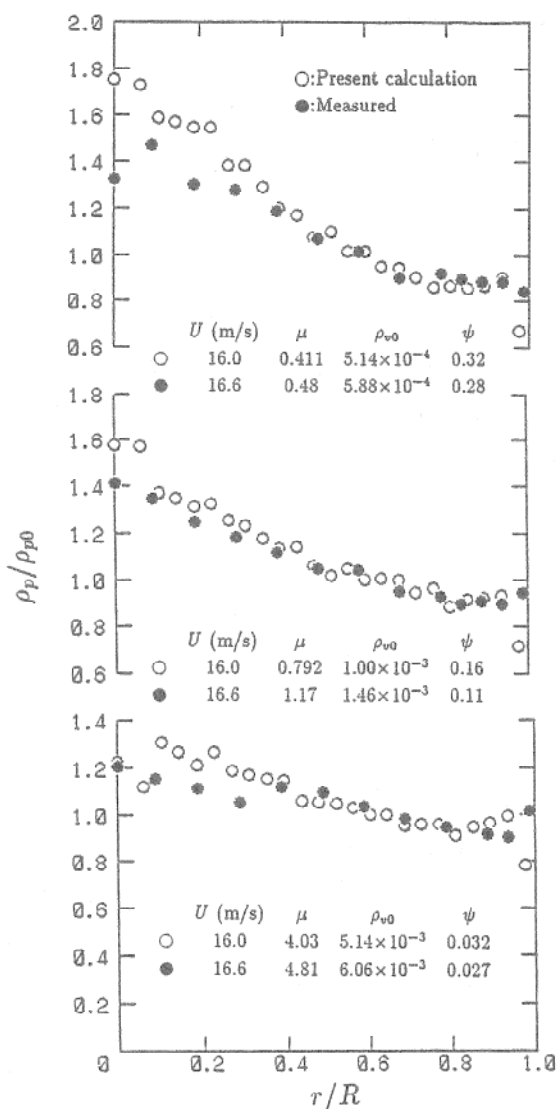


図2 粒子濃度分布の計算と実験の比較
(管内径 40mm, 粒径 0.406mm)

すが、いろいろな因子が流動に影響を与え、その制御が難しいわけです。こういった特徴は、固気二相流の測定データはばらつきが大きいという結果になって現れます。

このような特徴をもつ固気二相流の流動現象を理解するためには、数値シミュレーションによる流動の解析は有力なものになります。数値シ

ミュレーションでは実験では困難な理想的な条件を想定でき、影響因子を完全にコントロールできるので各因子の影響を独立に調べることができます。また、断片的な実験結果との比較を通してシミュレーションで用いたモデルの妥当性を確認することができ、実験と相補的な関係にあると考えることができます。

そういうことで、私も数値シミュレーションを行いました。図2は鉛直管内の流れに対する粒子濃度分布の実験結果と数値シミュレーションの結果の比較です²⁾。この計算では個々の粒子の運動を追跡する手法を用いており、粒子間衝突による粒子の分散性と気流の速度勾配による揚力から濃度分布が決定されます。図のように両者はおおよそ一致することが分かりました。このような個々の粒子を取り扱う数値シミュレーションは粒子の希薄な場合に限定されず、粒子が集団をなして流れるような高濃度の場合でも可能です。現在も計算機の環境は日進月歩で進んでいますので、この方法は多いに期待がもてるものと考え、現在、私も取り組んでいるところです。

5. おわりに

思い付くままに、研究を始めた頃からこれまでにやってきた管内固気二相流の研究について取り留めもないことを述べさせていただきました。最後に本欄への執筆を勧めていただきました梅野正隆教授(大阪大学工学部精密工学科)に謝意を表します。

参考文献

- 1) 森川・辻・田中(1985), 日本機械学会論文集, 51-467, B編, pp.2321-2329.
- 2) 田中・門野・辻(1990), 日本機械学会論文集, 56-531, B編, pp.3210-3216.