

内2-24

早稲田大学大学院理工学研究科

博 士 論 文 概 要

論 文 題 目

特殊形状ベンド管の非閉塞性・
耐エロージョン性メカニズム

申 請 者

松前 祐司

MATSUMAE YUJI

資源及材料工学専攻・応用力学研究

平成 2 年 12 月

自然界においてスパイラルというパターンはごく一般的なパターンである。これは、スパイラルというパターンが他のパターンよりも形成されやすい事を示唆しているものと思われる。スパイラルパターンやスパイラル挙動は、その所要エネルギーから考えて最も効率的であり、また、エネルギー水準の観点から考えても、極めて安定した構造であり、運動であると考えられる。このような自然界において普遍的なパターンを流体制御に応用することを試みた。

固気2相流の制御は一般的に難しいとされているが、それは気体流が乱流であるがためであろうと思われる。そこで、この乱流にある秩序構造を与える事によって、気体と固体がホモジニアスになれば、ある程度固体の制御が可能になると考えられる。そこで、一種のスパイラル旋回流である渦流を乱流の秩序構造の1つとして位置づけ、このスパイラルを利用したシステムの開発を行った。

本研究では、ベンド管のエロージョンと閉塞の問題を解決するために、スパイラルコンセプトをもとにした特殊形状ベンド管を開発した。

本論文は6章からなっており、スパイラルフローを利用した特殊形状ベンド管の開発までのプロセス、その特性、さらに実験で明らかになった特殊形状ベンド管の耐エロージョン性と非閉塞性のメカニズムについてまとめたものである。

第1章は本研究を含めた一連のスパイラルフローの研究についてまとめた。スパイラルフローとは、乱流にスパイラルという秩序構造を与え、制御した流れである。

可視化実験によって、スパイラルフローは旋回性、収れん性、安定性などの特性を有する流れであることが確認された。この特性を利用して、長管路への通線技術、サブミクロン粉体の連続改質技術、燃焼炎の制御技術などが実用化に向けて研究されている。

第2章では本研究の主たるテーマであるエロージョンについてまとめた。また、ベンド管の耐エロージョン対策の現状を調べ、その問題点について述べた。対策のほとんどがベンド部のエロージョンは避ける事ができないものであるという前提のもとで行われており、粉体の衝突によるエロージョンを根本的に解決するものはなかった。

第3章では特殊形状ベンド管の開発までのプロセスについて述べたものである。通常のベンド管を用いてアルミナの搬送実験を行い、ベンド部のエロージョンの状態を調べ、それらの問題点を解決するためにスパイラルコンセプトを利用したベンド管を開発するにいたった。開発したベンド管の構造は、流入部からベンド部いたるまで管径を徐々に太くし、ベンド部を流入部の約4倍の管径に膨らませ、流出部にいたるまで管径を徐々に細くした。このベンド管の特殊構造によって、管内にスパイラルフローを発生させ、管内のフローパターンをコントロールすることによってエロージョンと閉塞の問題を一挙に解決する事を試みた。

第4章では開発した特殊形状ベンド管の性能を確認するために行ったさまざまな

実験について述べた。特殊形状ベンド管によってアルミナの搬送実験を行ったところ、通常のベンド管が38時間で穿孔したのに対し、特殊形状ベンド管では4000時間の連続運転においても穿孔しなかった。これにより、穿孔時間は通常のベンド管の約100倍以上であることがわかった。また、ベンド部の平均流速が1.1m/sであるのにもかかわらず、全く閉塞を起こさなかった。以上の結果から、特殊形状ベンド管が耐エロージョン性と並びに非閉塞性に優れたベンド管であることが明らかになった。さらに、特殊形状ベンド管内流れの可視化並びに速度分布の測定結果から、管内にスパイラルフローが形成されていることを確認した。また、圧力損失測定の結果から特殊形状ベンド管は通常ベンド管と比較して圧力損失の小さいベンド管であることがわかった。以上の結果から、特殊形状によってベンド管内にスパイラルフローが生成され、その諸特性によって優れた特性を示したものの結論を得た。

第5章では特殊形状ベンド管においてスパイラルフローがどのように形成され、スパイラルフローの特性が特殊形状ベンド管の性能にどのような好結果をもたらしたかを考察した。理論解析の結果、ベンド管の漸縮小部において、半径方向のベクトルが与えられることによって、乱流はスパイラルフローへと変化することが明らかになった。このようにしてベンド管内に発生したスパイラルフローは v_z 成分が管軸において最大であり、さらに半径方向の静圧が管軸において最も低い流れであることが示された。また、漸拡大部では発散する渦が形成されているため、速度分布測定実験でも確認されたように管軸付近の速度が落ち込んでおり、管壁付近の速度が速いことが理論解析からも明らかになった。つまり、漸縮小部では、管軸方向への内向きのベクトルが与えられることにより、収れんする渦であるスパイラルフローが形成され、漸拡大部ではその構造から外向きのベクトルが与えられるため、発散する渦が形成されたのである。Creare社の汎用熱流体解析プログラム「FLUENT」によって特殊形状ベンド管内の流れを解析したところ、先の理論解析の結果と同様な速度分布がシミュレーションされた。

これらの結果をふまえ、特殊形状ベンド管の非閉塞性と耐エロージョン性のメカニズムについて考察した。

漸拡大部においてはアルミナが管壁に沿って流れるため、衝突角度を小さくなり、臨界角度を避けることができ、さらにベンド部の内径が大きくなるためアルミナの衝突速度を遅くすることができた。これによりエロージョンの進行を抑えることができたものと考えられる。

ベンド部における平均流速は1.1m/sであったが、これは計算から閉塞限界速度を完全に下回っていることがわかった。しかし、スパイラルフローが形成されているため、たとえ平均流速が閉塞限界速度を下回っていても、管軸付近の流速はそれを上回っている。さらにスパイラルフローの収れん性によって、アルミナは管軸付近に収れんするため、閉塞しなかったものと考えられる。

第6章において以下のような結論を得た。スパイラルコンセプトをもとに漸縮小部と漸拡大部を有するベンド管を開発した。この特殊形状ベンド管は、アルミナ搬送実験によって、非閉塞性、耐エロージョン性に優れたベンド管であることがわかった。特殊形状ベンド管の漸縮小部において、内向きの半径方向ベクトルを与えることで閉じる渦であるスパイラルフローが形成された。ベンド部の気流の平均流速は、閉塞限界速度を完全に下回っているが、漸縮小部のスパイラルパターンがアップストリーム効果によってベンド部のフローパターンに影響を与え、ベンド部の管軸付近の速度は閉塞限界速度を上回ることになる。さらに、スパイラルフローの求心力によってアルミナは管軸に収れんし、閉塞限界速度を上回る速度でベンド部を閉塞することなく流れた。また、漸拡大部においてはコアシフト効果によってアルミナは管壁に沿って流れるため、衝突角度は臨界角度を避ける事ができ、さらにベンド部で管径が太くなっているため衝突速度は遅くなり、エロージョンの進行が抑えられたものと結論づけられる。