

Title	可視化技術を用いた高速ウォータージェットの高度化及び流動構造の解明に関する研究
Author(s)	阿部, 宏幸
Citation	大阪大学, 2014, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/52156
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

論文内容の要旨

氏名 (阿部 宏幸)

論文題名

可視化技術を用いた高速ウォータージェットの高度化
及び流動構造の解明に関する研究

論文内容の要旨

本論文は全5章より構成した。

第1章ではウォータージェットの概要と本論文の目的について述べる共に、ウォータージェットの産業への応用の現状について特に土木工学分野に重点をおいて概括しその課題と今後の展望について述べた。

第2章では、近年急速に発達している光学機器によるPIVやPTVによる噴流内外部の速度計測、レーザーCTやレーザーシュリーレン法による噴流の透過率の計測からの局所における密度の算出、ANSYS FLUENTによるノズル内部等の乱流モデルのシミュレーション技術等、これらの組み合わせた高速ウォータージェットの流動構造解明のための可視化技術について述べた。

第3章では、複数の可視化技術によって実験を行い、高速ウォータージェットのミクロな構造についての観察の結果を得た。数百m/sの高速ウォータージェットの可視化を世界で初めて行い、高速ウォータージェットのノズル出口からの流動挙動と、その流体力学的特性を明らかにした。また、流体場の情報を得るための手法として広く利用されているPIVやPTVの技術を利用し、長距離のウォータージェットに関する流速測定技術の開発を行った。長距離のウォータージェットは高速、大流量のため従来の測定技術では計測が困難であったが、本研究で開発したPTV-LIF法により、高速ウォータージェットの流速測定が可能となり、高速ウォータージェットの流体力学的特性の解明のための知見を得た。また、バックライト撮影を行い、ウォータージェットの内部構造ではなく、特にウォータージェット表面の界面波の成長について考察を行った。

第4章では、上記の研究結果を実現現場試験施工に応用した結果、地盤改良に利用される高圧噴射攪拌工法が、同じ敷地面積を地盤改良するには改良本数が少なく済ませることができ、高圧噴射攪拌工法が持つ課題の一つである低コスト化が可能であることを確認した。つまり高圧噴射により、一度に地盤改良できる領域が大きくなるほど施工効率が上げられ、低コスト化する。実現現場試験施工では研究結果を応用した新型特殊噴射装置を製作し、従来ノズルとの実際の地盤切削距離と出来型の品質について、実際に造成した地盤改良体を掘削してその効果を確認した。また、新型特殊噴射装置のノズル内部の流動についてシミュレーションの結果について確認した。

第5章では本論文のまとめと今後の課題、展望について述べた。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (阿 部 宏 幸)			
論文審査担当者	(職)	氏 名	
	主 査	教 授	片岡 勲
	副 査	教 授	赤松 史光
	副 査	准教授	吉田 憲司

論文審査の結果の要旨

ウォータージェットは産業界で広く利用されているが、その流体力学特性の解明は十分ではない。ウォータージェットをより高性能化するためにはその流体力学特性に基づいた合理的な設計と開発が必要である。本論文では建設分野の地盤改良で利用される高速ウォータージェットの流動の可視化と密度分布の測定を行いそれに基づき流体力学特性の解明を行っている。さらにその応用研究として新型特殊噴射装置を製作し、実際に造成した地盤改良体の地盤切削距離と品質について従来ノズルとの比較を行い、その性能を確認している。

高速のウォータージェットの流体的特性を解明するために、その流動を可視化する新たな測定装置を開発している。この装置は、高強度のレーザーと光電子増倍管並びに高速度ビデオカメラを組み合わせたものでマイクロ秒レベルの可視化を可能としている。さらに可視化粒子とレーザー誘起蛍光法を用いてウォータージェットの速度分布を世界に先駆けて測定している。さらにレーザーシュリーレン法によりジェットの密度分布の測定も行っている。それらの結果に基づいてウォータージェットの流動構造の解明を行い以下の成果を得ている。

ウォータージェットはノズル出口直後では連続流であるが大きな界面剪断力によってジェット界面に擾乱が発生するとともにそこから液滴が多数発生することを明らかにした。下流に行くに従い、ジェット界面は非常に複雑に変形しつつ不均一となることが明らかとなった。また圧力が高い場合には非常に細かなミスト状の液滴が発生した。

ジェットの半径方向各位置における瞬時の速度は大きく変動しており、その変動幅はノズル出口からの距離が大きくなるほど、またノズル出口圧力が大きくなるほど大きくなることが明らかとなった。ジェットの半径方向速度分布はノズル出口から 100D (D はノズル直径) の位置ではほぼ一様な分布であるが、ノズルからの距離が増加するに従い、ジェット周辺部で速度が低下し、特に圧力が高い領域では山形の分布、非対称な分布になっていくことが示された。断面平均速度はノズル出口からの距離が 600D 程度まではあまり減衰しなかった。しかし速度分布や速度変動を考慮するとジェットの切削能力が維持されるのは 300D から 400D 程度までであることを明らかにした。

ジェットの密度分布はノズル出口において一様であるがノズル出口から離れるに従い、また圧力が高くなるに従いジェットの幅は広がり山形の密度分布に移行することが明らかとなった。測定された密度分布と流速分布を用いてジェットの動圧を評価しノズル出口から 300D から 400D 程度までは十分な切削能力を持つことを確認した。

上記の研究結果を実際の現場の試験施工に応用した結果、地盤改良に利用される高圧噴射攪拌工法が、同じ敷地面積を地盤改良するには改良本数を少なく済ませることができ、低コスト化が可能であることを示した。実際の現場の試験施工では研究結果を応用した新型特殊噴射装置を製作し、従来ノズルとの実際の地盤切削距離と造成体の品質について、実際に造成した地盤改良体を掘削してその効果を確認した。また、新型特殊噴射装置のノズル内部の流動について数値シミュレーションプログラムを開発し解析を行った。

以上のように、本論文は高速ウォータージェットの流動構造の測定手法を確立し詳細な計測を行うとともに、その結果に基づき高速ウォータージェットの物理的な素過程を解明している。この結果は基礎的な学術分野においても、また実際の機器への応用においても極めて有用なものである。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。