

Title	ウォータージェットの流動特性とその切削性能の高度化に関する研究
Author(s)	吉田, 宏
Citation	大阪大学, 2011, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/26871">https://hdl.handle.net/11094/26871</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

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

Osaka University

氏名	吉田 宏
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 24831 号
学位授与年月日	平成23年5月26日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位論文名	ウォータージェットの流れ特性とその切削性能の高度化に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 片岡 勲 (副査) 教授 宮本 裕司 教授 田中 敏嗣 准教授 吉田 憲司

### 論文内容の要旨

ウォータージェットは産業界において広範囲に利用されているがその流体力学特性の解明は十分にはなされていない。ウォータージェットをより高機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で利用される高速のウォータージェットの流動の可視化を行い、その流体力学特性の解明を行った。更に、その応用研究としてコンクリート切削に利用するアブレイシブジェットやロータリージェット、地盤切削に利用するスーパージェットなどの高機能のウォータージェットの開発とその流動特性についての実験と解析を行った。

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た。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無味合わせたもので、マイクロ秒レベルの可視化が可能となった。さらに可視化粒子とレーザー誘起蛍光法(Laser Induced Fluorescence, LIF)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、それに基づいてウォータージェットの流動挙動の解明を行い以下の成果を得た。

高速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すぐに界面波が発生しそれが急速に加速され発達してジェットの中心部分に波及し液滴流に遷移した。ノズル出口圧力が高くなるに従い、界面波の発生する距離は短くなり、ノズル出口直後の液滴飛散量も多くなるとともに液滴径も微細となった。ジェットの断面方向の速度分布は、ノズル出口ではほぼ矩形の分布であるが、ノズル出口から離れるにつれてジェットの外側部分が減速した。ノズル出口圧力が高圧になるほど減速の割合が大きくなった。しかしながらジェットの平均流速は、600D(ノズル径の600倍)まではノズル出口と変わらず、ジェットの切削能力は保たれていることが明らかとなった。

上記の流体力学特性を応用し、厚い鉄筋コンクリートの切削が可能となるような、高いノズル出口圧力と噴射流量を持ち、ジェット中に研磨材粒子を含有するアブレイシブジェットのシステム開発を行った。このシステムを用いて、切削に影響する因子の効果を確認する実験を実施し、噴射圧力、ノズル径、移動速度、繰り返し回数、研磨材供給量とコンクリートの切削深さについての相関式を得た。更に、ノズル内の研磨材の加速機構に関する実験を実施し、研磨材粒子に作用する外力は、空気力と重力を無視すれば水噴流からの流体力とノズル内壁での反発力、動摩擦係数だけになり、ノズル内壁での研磨材粒子の反射運動は反発係数、動摩擦係数が得られれば、衝突運動方程式(10)から求められることを明らかにした。

またノズルが回転しながら切削を行うロータリージェットの開発を行い、コンクリート内に挿入し切削するタイプと表面から切削するタイプのシステムを開発した。これらのシステムによるコンクリートの切削特性及び破碎特性の高度化に関する実験を行い、最適のノズルの形状や配置、並びにノズルの移動速度、回転数が切削能力

に及ぼす影響を明らかにし、切削効率を推定する相関式を得た。

こうして開発した高性能ウォータージェットを用い合理的で、経済的な地盤改良技術としてスーパージェット工法を開発し実際の地盤に適用する実験を行い、様々な性質の地盤に適用可能であることを示すと共に切削に関する推定式を得るとともに、地盤の造成に必要な施工仕様決定方法を確立した。

### 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に利用されているが、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機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で利用される高速のウォータージェットの流動の可視化を行いその流体力学特性の解明を行っている。更にその応用研究としてコンクリート切削に利用するアブレイシブジェットやロータリージェット、地盤切削に利用するスーパージェットなどの高機能のウォータージェットの開発とその流動特性についての実験と解析を行っている。

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が可能となっている。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、それ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。

高速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すぐに界面波が発生しそれが急速に加速され発達してジェットの中心部分に波及し液滴流に遷移する。ノズル出口圧力が高くなるに従い、界面波の発生する距離は短くなり、ノズル出口直後の液滴飛散量も多くなるとともに液滴径も微細となる。ジェットの断面方向の速度分布は、ノズル出口ではほぼ矩形の分布であるが、ノズル出口から離れるにつれてジェットの外側部分が減速する。ノズル出口圧力が高圧になるほど減速の割合が大きくなる。しかしながらジェットの平均流速は、600D(ノズル径の600倍)まではノズル出口と変わらず、ジェットの切削能力は保たれていることが明らかとなっている。

上記の流体力学特性を応用し、厚い鉄筋コンクリートの切削が可能となるような、高いノズル出口圧力と噴射流量を持ち、ジェット中に研磨材粒子を含有するアブレイシブジェットのシステム開発を行っている。このシステムを用いて、切削に影響する因子の効果を確認する実験を実施し、噴射圧力、ノズル径、移動速度、繰り返し回数、研磨材供給量とコンクリートの切削深さについての相関式を得ている。更に、ノズル内の研磨材の加速機構に関する実験を実施し、研磨材粒子に作用する外力は、重力と空気からの流体力を無視すれば水噴流からの流体力とノズル内壁での反発力、動摩擦係数だけになり、ノズル内壁での研磨材粒子の反射運動は反発係数、動摩擦係数が得られれば、衝突運動方程式(10)から求められることを明らかにしている。

またノズルが回転しながら切削を行うロータリージェットの開発を行い、コンクリート内に挿入し切削するタイプと表面から切削するタイプのシステムを開発している。これらのシステムによるコンクリートの切削特性及び破碎特性の高度化に関する実験を行い、最適のノズルの形状や配置、並びにノズルの移動速度、回転数が切削能力に及ぼす影響を明らかにし、切削効率を推定する相関式を得ている。

こうして開発した高性能ウォータージェットを用い合理的で、経済的な地盤改良技術としてスーパージェット工法を開発し実際の地盤に適用する実験を行い、様々な性質の地盤に適用可能であることを示すと共に切削に関する推定式を得るとともに、地盤の造成に必要な施工仕様決定方法を確立している。

以上のように、本論文はウォータージェットの流体力学特性を明らかにするとともにその切削能力の高度化を行う学術並びに産業に大きく貢献している。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。