

令和元年6月19日現在

機関番号：18001

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06016

研究課題名(和文) 高圧高速空気噴流を併用した水中Water Jet用ノズルの開発

研究課題名(英文) Development of submerged water jet nozzle assisted with coaxial high pressure and high speed air stream

研究代表者

屋我 実 (YAGA, Minoru)

琉球大学・工学部・教授

研究者番号：60220117

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：近年海中作業や廃炉が注目ウォータージェットの水中での性能維持を目的とした特別なノズルを開発した。すなわち大気中では高圧の水を作用流体としてあらゆる作業に応用されてきたが、水中では急激な減衰によりその性能は著しく低下する。

そこで、本研究は同心円状に空いたノズルを用いて、中心からは高圧水の噴射、周りのドーナツ状の穴からは高圧空気を噴射することで水の噴流の減衰を低減し、ノズルから離れたターゲット上においてもその速度を維持することに成功した。水中における同心円状に噴射された高圧空気の効果は極めて顕著で、水中においてもあたかも大気中におけるウォータージェットのふるまいとほぼ等しい圧力回復が達成できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

海洋資源や廃炉において近年特に要請が多い水中作業に応用可能な高性能ウォータージェットのノズルを開発し、その効果を確認した。基本的な原理は、ウォータージェットの周りに空気噴流を同心円状に噴射することで、大気中におけるウォータージェットの性能とほぼ変わらないことを実験的にもコンピュータシミュレーションでも確認した。

この成果は極めて重要で、今後数十年かかるといわれている廃炉内の燃料デブリーの切断に極めて有効な道具になりえる。また作用流体が水であるため、環境負荷の観点から有効である。

研究成果の概要(英文)：Special nozzles have been developed to maintain the performance of water jets in the water, which is attracting attention as a result of underwater work and decommissioning of a nuclear power plant. That is, in the atmosphere, high pressure water has been applied to all operations as working fluid, but in water, its performance is significantly reduced due to rapid attenuation by momentum exchange between a jet and surrounding still water. Therefore, in this research, using the coaxial nozzles, the jet of high pressure water is issued from the center and the high pressure air is issued from the surrounding slit to separate water jet from the still water. We succeeded in maintaining the stagnation pressure on the target plate. The effect of the concentrically injected high pressure air in the water has been confirmed. And in the water, a pressure recovery almost equivalent to the behavior of the water jet in the atmosphere could be achieved.

研究分野：流体力学，高速空気力学

キーワード：submerged water jet coaxial air stream compressible flow pressure recovery factor CFD two phase flow

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

ウォータージェットはその環境負荷の低さや材料に対する負荷が小さいことから、塗装材のはく離やコンクリートのはつり等に利用されてきているが、超高压のウォータージェットはコンクリートや金属の切断等に应用されるようになり近年特に注目を集めている。その大きな要因の一つは、日本が海に囲まれた国であることから、海洋進出における水中での作業の増加や廃炉に向けた燃料取り出しに際し、金属の塊を水中において切断する必要性の高まりである。上記の社会的な要望が今後さらに強くなることが予想されるため、本研究のテーマである水中でも性能が低下しないノズルの開発を取り込んだ。

2. 研究の目的

Water Jet は、これまで主に大気中で塗装のはく離やコンクリート壁のはつりに使われていたが、今後海洋構造物の増加を想定し水中で性能が維持できるようなノズルを開発することは重要である。その際高速の Water Jet が静止液体中に噴出するため、周辺流体との摩擦による減速やジェットそのものが広がることによる指向性・安定性が問題となる。

本課題では高压・高速の空気を Water Jet のガイド用として Water Jet ノズルの外側 Jet に平行に噴射することにより静止液体中に水のみを噴出する場合に比べて抵抗を減らしターゲットへの衝突速度を上げ、Water Jet の広がりを最小限し指向性を上げると同時に圧力回復を向上させることで、ターゲット材料に対する材料加工性を上げる Water Jet 用ノズルの開発を目指す。

3. 研究の方法

中心において Water Jet の水が噴出し、その周りの高速・高压の空気が流れる図1示した特殊ノズルを用いて様々な実験を行う。すなわち大気中で従来のウォータージェットの使用方法で予備実験をした後に、図2に示すようなタンクにためられた水中において、光学的な観察およびターゲット上における圧力を測定し、高压空気の圧力やウォータージェットに印可する圧力を変化させ、最適な圧力の組み合わせの同定を行う。したがってウォータージェットと補助空気のためのポンプと圧縮機がノズルに独立に接続されており、それぞれ調整できるようになっている。

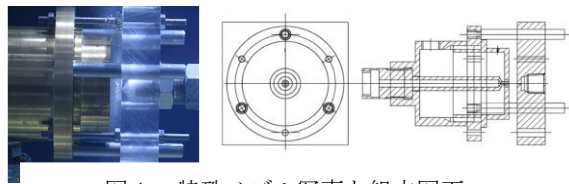


図1 特殊ノズル写真と組立図面

4. 研究成果

(1) 図1示すノズルを図2に示すように水中に沈め、高压空気とウォータージェットを同時に噴射した。その噴射したウォータージェットに垂直に立てたターゲット上の圧力を測定した。まず空気の圧力を変化させた場合のターゲット上の圧力とポンプ圧力の比いわゆる圧力回復率を示す。パラメータはノズルとターゲットの距離である。図3より圧力回復率は、空気の圧力にほとんど影響されず、ターゲットの距離が近いほど、大きくなっている。

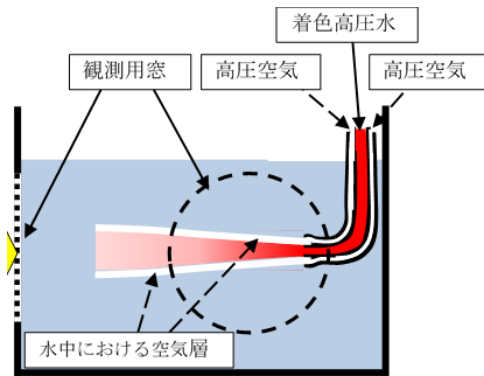


図2 ウォータージェット性能評価実験槽

(2) 空気圧力を0.7MPaと0.5MPaの2通りとし、ノズル平板間距離を変えた場合の、圧力回復率の変化を図4に示す。図には参考のため、大気中における圧力回復率も示してある。図4より図3の結果同様、空気の圧力はほとんど影響なく、ノズル平板間距離が大きくなると、圧力回復率が低下している。この傾向は、大気中における場合も同じである。さらに白抜きの四角(□)で示す水中における補助空気無しの圧力回復率がノズル平板間距離が大きくなると著しく低下している。これに対し空気を噴射することで、すべての条件で圧力回復率が空気無しの場合に比べて増加していることがわかる。これは、大気中におけるウォータージェット周りの流れ場が水中において空気噴流を噴射した場合の流れ場とほぼ同じになっていると予想される。

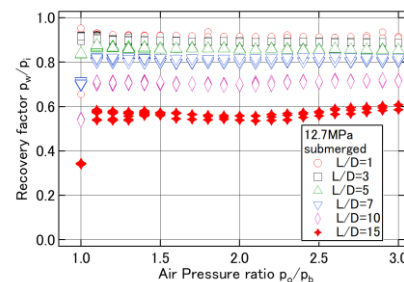


図3 圧力回復率と空気圧の関係

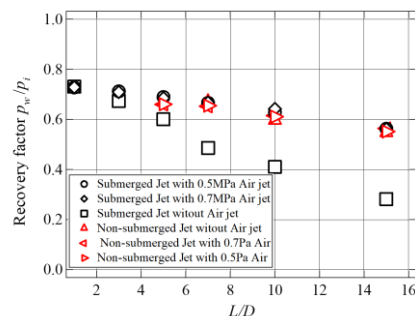


図4 圧力回復率とノズル平板間距離の関係

(3) 空気噴流の影響を明確にするため、大気中

における実験の様子を図5に示す。図5は大気中において、12.7MPaの水圧を噴射した場合、図5(a), (b), および(c)は空気圧力と大気圧との比をそれぞれ1.0, 1.4 および3.0とした場合のウォータージェットの様子である。図より大気中においてもウォータージェットの広がりには認められるものの、空気噴流の圧力比が1.4の場合にその広がり是最小となっていることから、空気噴流の圧力に最適値があるものと考えられる。この結果は水中においても最適な圧力があると考えられるが、これまでの研究において、水と空気噴流を同時に噴射した場合の可視化が達成できていないため今後の課題といえる。

(4) 詳細な流れの解明のため、2次元軸対称を仮定し、Fluentによる数値シミュレーションも行った。シミュレーションでは気液2相流として、気体は圧縮性も考慮した計算を行った。ただし、液体についてはキャビテーションを考慮していない。圧力起伏率の計算結果を図6に示す。図よりノズル平板間距離が圧力回復率に及ぼす影響は実験結果と定性的に一致するもの、その大きさは実験結果に比べ計算結果を大きくくなっている。

(5) 水中において、アシスト空気がない場合の噴射圧力12.7MPaの場合、噴流内の速度分布を図7に示す。計算した噴流は流れ下流側にターゲットがないいわゆる自由噴流を想定している。その結果よりその速度分布の自己相似が確認できる。このことから水中における水の流れは比較的シミュレーションによって再現できていると考えられる。

(6) 数値シミュレーションの結果において、空気と水の比を計算した結果を図8に示す。図7(a)は速度の大きさ、図8(b)は気相と液相の比を示しており赤は水で、青は空気を示している。図8(a)より、高圧になったよどみ状態から噴出することで、急激に加速膨張しており、ウォータージェットはその中心を空気より遅い速度でターゲットに向かってのりかわる。また、図8(b)より水中においても、中心から噴出した水が周りの空気に囲まれて、水槽にたまっている水と干渉することとなる、ターゲットに直線状に近づき衝突していることがわかる。このことより実験でも確認された大気中における流れ場に近い状態が再現されていることがわかる。したがってターゲットが比較的通り場合でも、空気噴流を用いることで、圧力回復率の低下を防ぐことができることが分かった。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計5件)

1. 14th International Symposium on Experimental Computational Aerothermodynamics of Internal Flows 8-11 July 2019, Gdansk, Poland
Study of Effect of Coaxial Air Stream on High-Pressure Water Jet,
Minoru Yaga, Kento Yamakawa, Takahito Wakuta, and Heuy Dong Kim

2. The 7th Asian Joint Workshop on Thermophysics and Fluid Science (7th AJWTF)
November 21-24, 2018 Mascot Hotel, Trivandrum, India
Effect of Coaxial Air Stream on High-Pressure Submerged Water Jet
Minoru Yaga, Takahito Wakuta, R.V. Reji and Heuy Dong Kim

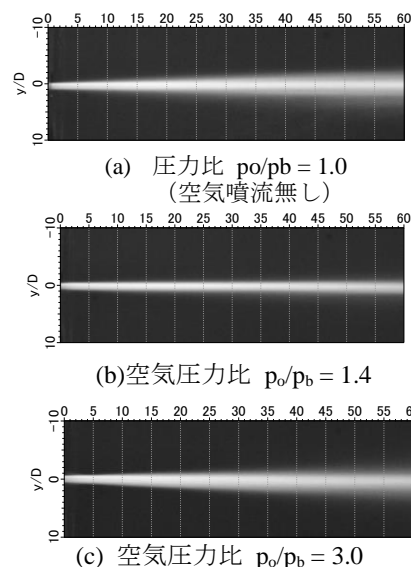


図5 大気中におけるウォータージェットの様子 (水圧12.7MPa)

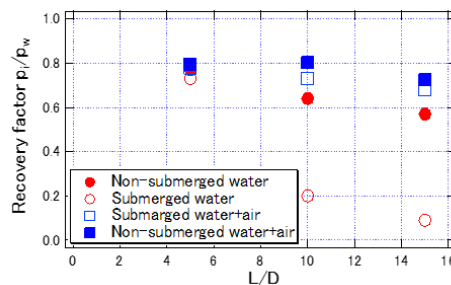


図6 数値シミュレーションによる圧力回復率の計算結果

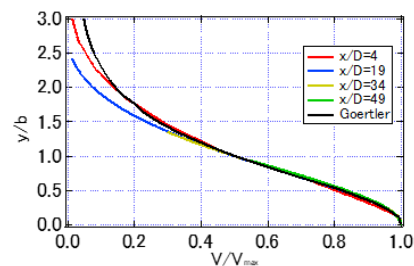


図7 数値シミュレーションによる噴流内の速度分布

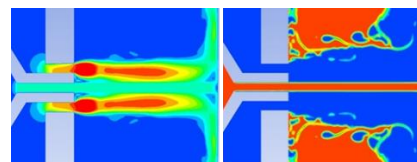


図8 数値シミュレーションによる速度と気液の比

3. 5th International Conference on Experimental Fluid Mechanics, July 1-4, 2018
Institute of Fluid Mechanics and Aerodynamics Universität der Bundeswehr München, Germany
Effects of the Coaxial-Assistant Air Stream on HighPressure Submerged Water Jet
Minoru Yaga, Mitsuyuki Shioiri, Heuy Dong Kim

4. 平成 29 年度衝撃波シンポジウム
東北大学片平さくらホール
2018 年 3 月 7 日～9 日
同軸空気噴流が水中ウォータージェットに及ぼす影響に関する研究
塩入光順, 屋我実, Heuy Dong Kim

5. The 13th International Symposium on Experimental and
Computational Aerothermodynamics of Internal Flows,
Okinawa, May 7-11, 2017
Interaction between High-Pressure Submerged Water Jet and Coaxial Air Stream
Minoru Yaga, Mitsuyuki Shioiri, Heuy Dong Kim

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：韓国・安東大学, 工学部教授 Heuy Dong Kim

ローマ字氏名：Heuy Dong Kim

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。