

機関番号：11301
 研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2009～2010
 課題番号：21760677
 研究課題名（和文） 海底下メタンハイドレート層を対象としたウォータージェットによる
 枝掘り技術の開発
 研究課題名（英文） Development of branch drilling with waterjets for sub-seafloor
 Methane hydrate
 研究代表者
 木崎 彰久（KIZAKI AKIHISA）
 東北大学・大学院環境科学研究科・助教
 研究者番号：60344686

研究成果の概要（和文）：ウォータージェットによる枝掘り用ノズルシステムを開発することを目的として、従来型の自転型ノズルシステムに回転速度抑制用ベーンポンプを内蔵したノズルシステムを提案するとともにそのプロトタイプの開発を行った。開発したノズルシステムの基礎的な回転速度特性を実験的に評価し、自転型ノズルシステムにベーンポンプを組み込むことにより、減速機構のない自転型ノズルシステムに比べ回転速度を大幅に抑制することができることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：In this study, a self-spin waterjet nozzle system that has a vane pump for braking rotational speed of nozzle system was proposed, and a prototype of a nozzle system was developed. To clarify the fundamentals on the rotational speed of the nozzle system, a measurement of the rotational speed of nozzle system was conducted. It was clarified that the rotational speed of nozzle system obtained for the nozzle system with the vane-pump type brake system was much smaller than that obtained for the nozzle system without the brake system.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・地球・資源システム工学

キーワード：資源開発，メタンハイドレート，ウォータージェット，掘削

1. 研究開始当初の背景

高圧の水をノズルより噴射し岩盤等を掘削するウォータージェット掘削は、掘削の際に刃物が必ずしも岩盤に接触する必要がないことから、大きなスラスト荷重をかけることが困難な小径掘削や枝掘り掘削に対する適用が期待されている。岩盤等を掘り進む際、ノズルシステムの外径よりも大きな径の掘

削孔を得ることが必要であるが、ウォータージェットの衝突により得られる切削溝はノズル径の数倍程度であるため、ノズルシステムを回転させるなどして移動させることが不可欠である。

ノズルシステムの回転方法としては、掘管ごと回転させる方法や掘管の先端部に水力モータを取り付ける方法が一般的であるが、

やや大掛かりな装置を必要とする。一方、ウォータージェットの高圧反力を駆動力とする自転型ノズルシステムは、比較的小型化が容易である上に、各種洗浄用として広く利用されている。そこで、本研究では、掘削用ノズルシステムとして同ノズルシステムに着目した。

また、ウォータージェットにより岩盤を切削する際には、衝突したジェットの水圧が岩盤中に伝播し、破壊が生ずるまで十分な時間衝突させ続ける必要がある。このことは、メタンハイドレートの含有率が高い地層など掘削対象の強度が大きく透水性が低い場合に顕著であり、ジェットの衝突面での移動速度を掘削対象に応じて十分小さくすることが必要である。すなわち、低速まで回転速度が調整可能なノズルシステムが求められるが、洗浄分野では、小型かつ低速回転可能な自転型ノズルシステムに対する需要があまりないため、そのような自転型ノズルシステムの開発はほとんど行われていない。

自転型ノズルシステムの減速方法としては、減速ギア、マグネットブレーキ、遠心ブレーキ、ノズルシステムの側面部にベーンなどを取り付ける方法、ノズル配置を工夫して回転トルク自体を小さくする方法およびギアポンプ、ねじポンプ、ベーンポンプなどの流体ポンプを組み込む方法が挙げられる。

これらのうち、減速ギアを用いる方法は、回転速度を細かく調整できる利点があるが、ギアボックスが必要であるため寸法がやや大きくなる上に高圧水中下におけるシールの問題が生ずる。マグネットブレーキを用いる方法は、周囲の温度変化の影響を受けにくく、また、遠心ブレーキは回転速度が大きいほどより大きなブレーキトルクを発生させることができる特長を有している。しかしながら、いずれも小型のノズルシステム内に組み込み、かつ低速回転を実現することは難しいように考えられた。ノズルシステムの側面部にベーンなどを取り付ける方法は、寸法が大きくなることに加えて、孔内にノズルシステムが抑留する恐れがある。また、ノズル配置を工夫して、回転トルクを小さくした場合、回転自体が停止してしまう可能性がある。

これらの方法に対して、流体ポンプを組み込む方法は、様々なポンプを選択できるため設計の自由度が比較的高いと考えられる。そこで、本研究では小型かつ構造が単純な自転型ノズルシステムを開発するために、自転型ノズルシステムの回転軸部にベーンポンプを組み込む方法を採用した。

2. 研究の目的

本研究では、地下岩盤に対するウォータージェット掘削用の自転型ノズルシステムを開発することを目的として、ベーンポンプ式

の減速機構を有する自転型ノズルシステムのプロトタイプの開発を行った。また、開発したノズルシステムの回転特性について明らかにするために、錘の落下を用いた回転速度測定実験を実施した。

3. 研究の方法

開発したベーンポンプ内蔵の掘削用低速自転型ノズルシステムの概要を Fig. 1 に示す。本ノズルシステムは、回転しないボディおよびカバーと回転するウォータージェットノズル、ノズルヘッドおよびベーンから主に構成されている。ノズルシステムの外径は 30 mm であり、全長は 155 mm である。ノズルヘッドの取り付けを行うために、カバーは取り外し可能な構造とし、ボディにねじで固定した。

ノズルヘッドは、側面の 4 か所に板ばねおよびフッ素樹脂製のベーンを挿入した状態で、カバー内に設けられたポンプケーシング部に取り付けた。ベーンポンプの吸引口と吐出し口は、ポンプケーシング内部に設けた流路により連結されており、その途中に絞り弁が設けられている。ノズルヘッドおよびウォータージェットノズルは SUS440C 製とし、回転の際に部品が焼き付くことを防ぐため、ボディおよびカバーは硬質リン青銅製とした。また、カバーの先端は、ノズルヘッドの先端よりも 5 mm 程度前方に突き出し、掘削の際、カバー先端が岩盤に衝突した場合でも、回転しているノズルヘッドが岩盤に衝突しづらい構造とした。

ベーンポンプ内の流路および流路に取り付けた絞り弁の詳細を Fig. 2 に示す。ベーンポンプの吸引口と吐出し口をつなぐ流路には、ピン形状をした絞り弁を 2 つ取り付けた。ベーンポンプの減速効果の調整は、これらの絞り弁をピン部分の軸径が異なるものに交換し、絞り弁部における流路の開口面積を変更することで行った。

開発した自転型ノズルシステムを用いて実施した回転速度計測実験の概要を Fig. 3

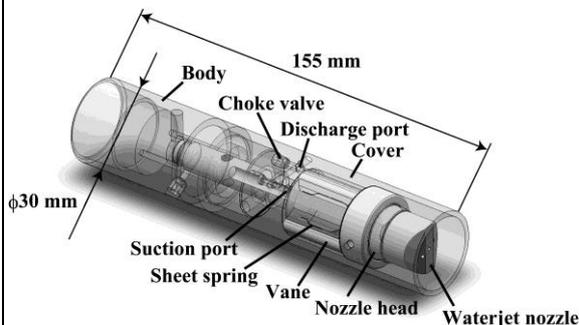


Fig. 1 Developed self-rotating nozzle system for waterjet drilling with vane pump.

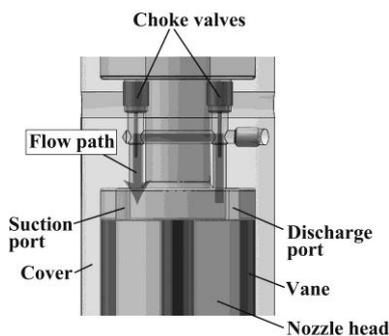


Fig. 2 Flow path and choke valves in vane pump.

に示す。高さがおよそ 2 m の架台上に水槽を設置し、その底部にノズルシステムを固定した。ウォータージェットノズルの代わりに取り付けられた直径が 19.5 mm のリールにはナイロン糸が巻かれており、ナイロン糸は 2 個のローラーベアリングを介して、外部の錘に取り付けられている。このように本研究では、回転速度に関わらず一定の回転トルクを自転型ノズルシステムに与えるために、錘の落下を用いた回転速度計測実験を行った。また、回転速度に及ぼす回転トルクの影響を明らかにするために、様々な質量の錘を用いて回転トルクを系統的に変化させ、錘が 2 m 落下するのに要した時間を計測した。ノズルシステムのベーンポンプ部は、実験前に水槽内において繰り返し回転させることで、十分に空気抜きを行った。

ベーンポンプの流路内の直径 2 mm の部分に設けた絞り弁の寸法が、回転速度に及ぼす影響について明らかにするために、絞り弁を取り外した状態および絞り弁の直径が 0.5, 1.0, 1.5 mm およびプラグを用いた場合において回転速度計測実験を行った。プラグを用いた場合、ベーンポンプ内の吐出し口と吸引口をつなぐ流路は完全に閉じられた状態になり、ベーンポンプ内に流れがない場合は、ノズルシステムは回転しないことになる。また、この他に減速機構を有さない従来型ノズルシステムを模擬して、ベーンポンプ内のベーンおよび絞り弁を全て取り外した状態での実験も行った。

4. 研究成果

回転速度計測実験の結果、様々な種類の絞り弁に対して得られた回転トルクと回転速度の関係を Fig. 4 に示す。図中の丸印はベーンと絞り弁を全て取り外した状態で得られた結果であり、減速機構のない自転型ノズルシステムでの結果に相当する。減速機構のない自転型ノズルシステムでの回転速度は、回転トルクとともに急激に増大しているが、ベーンポンプを組み込んだ場合では、回転トルクを 0.4 N・m 程度与えた場合においても数 100 から 2,000 rpm 程度の回転速度に抑制さ

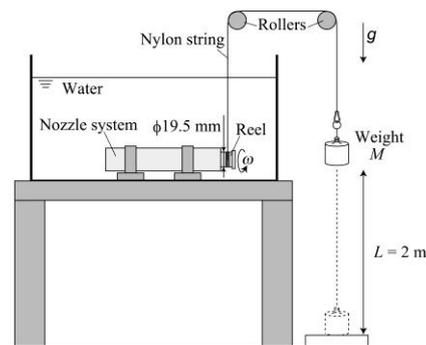


Fig. 3 Schematic diagram of experimental setup for measuring rotational speed of nozzle system.

れている。すなわち、ベーンポンプを組み込むことによって、減速機構のない自転型ノズルシステムに比べ回転速度が大幅に減少していることが分かる。これは、組み込んだベーンポンプがノズル回転速度を抑制する効果を与えていることを示している。

また、ベーンポンプにベーンを組み込んだ場合、絞り弁を外した状態、絞り弁の直径が 0.5, 1.0, 1.5 mm およびプラグを用いた場合の順に回転速度が小さくなっている。これは、絞り弁部の流路面積が上述の順に小さくなり、ベーンポンプの吐出し側圧力が大きくなる結果、ノズルシステムの回転を抑制する方向のトルクが大きくなったことを示している。なお、プラグを用いて流路を完全に閉じた場合においても、ノズルシステムの回転は停止していない。これは、ウォータージェットの噴射反力による回転トルクがノズルシステムによる抵抗トルクより大きく、また、内部に流れが生じているためと考えられる。上図の関係を両対数に取った結果を Fig. 5 に示す。図中には傾きが 1 および 1/2 の直線を実験結果に沿うように示した。従来型ノズルシステムの回転速度は、おおよそ回転トルクに対して傾きが 1 の直線の関係にある。これは、ジェットの噴射による回転トルクと自

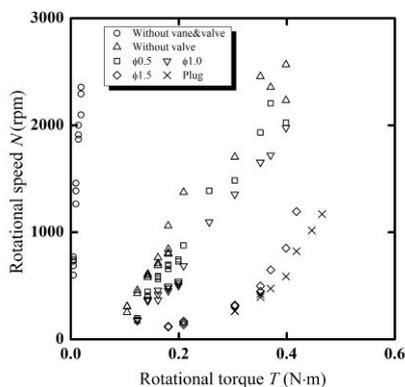


Fig. 4 Relation between rotational torque and rotational speed of nozzle system for various choke valves.

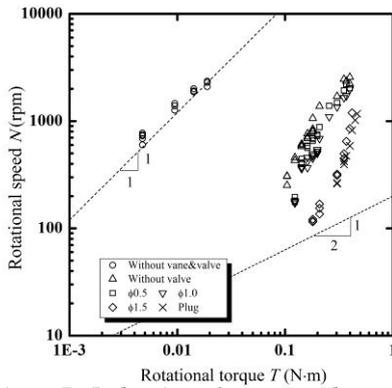


Fig. 5 Relation between logarithm of rotational torque and logarithm of rotational speed of nozzle system for various choke valves.

転型ノズルシステムの摺動面に働く粘性摩擦トルクが釣り合っ、回転速度が定常状態にあるためと考えられる。

一方、ベーンポンプを内蔵した自転型ノズルシステムにおける回転速度は、減速機構のない自転型ノズルシステムにおける回転速度よりも全体的に小さいが、回転トルクに対する回転速度の増加率は大きくなっている。また、回転トルクに対する回転速度の増加率は、ベーンポンプ内で漏れ流れがない場合に予想された1/2の傾きよりも大きい。これは、回転速度が大きくなるにつれてベーンポンプ内での流れが減少し、抵抗トルクが増加しにくくなるためと考えられる。

以上のように、本研究では、ウォータージェットによる枝掘り用ノズルシステムを開発することを目的として、従来型の自転型ノズルシステムに回転速度抑制用ベーンポンプを内蔵したノズルシステムを提案するとともにそのプロトタイプの開発を行った。開発したノズルシステムの基礎的な回転速度特性を実験的に評価し、自転型ノズルシステムにベーンポンプを組み込むことにより、減速機構のない自転型ノズルシステムに比べ回転速度を大幅に抑制することができることなどを明らかにした。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

1. 木崎彰久, 横井研太, 坂口清敏, 松木浩二, ベーンポンプ式減速機構を備えた自転型ノズルシステムの回転速度, 噴流工学, 28 (1) pp. 4-10 (2011). (査読有)

[学会発表] (計6件)

1. Kizaki, A., Yokoi, K., Sakaguchi, K. and Matsuki, K., Development of low speed self-rotating nozzle system for

drilling, 12th International Congress on Rock Mechanics, 18-21 October, Beijing, China, pp.1719-1722 (2011). (査読有)

2. 木崎彰久, 横井研太, 坂口清敏, 松木浩二, 低速自転型ウォータージェット掘削用ノズルシステムの開発, 2010年度日本ウォータージェット学会技術年次報告会, 2011年1月21日, 名古屋, pp. 69-72 (2011). (査読無)
3. Kizaki, A., Tanaka, H., Matsuki, K., Kon, T., Ogatsu, T. and Igi, T., Removal of geothermal scale through the use of self-rotating nozzle systems with pure waterjets, 20th International Conference on Water Jetting, 20-22 October, Graz, Austria, pp. 163-176 (2010). (査読有)
4. 木崎彰久, 横井研太, 坂口清敏, 松木浩二, 低速型小型自転ノズルヘッドの開発, 資源・素材学会春季大会, 東京, 2010年3月30日 pp. 99-100 (2010). (査読無)
5. 木崎彰久, 横井研太, 坂口清敏, 松木浩二, ウォータージェットボーリング用の小型自転型ノズルの試作, 2009年度日本ウォータージェット学会技術年次報告会, 2010年1月29日, 八戸, pp. 17-20 (2010). (査読無)
6. 木崎彰久, 福沢堯之, 坂口清敏, 松木浩二, 高圧水中下における自転型ノズルの回転速度に関する研究, 2008年度日本ウォータージェット学会技術年次報告会, 2009年1月24日, 滑川, pp. 55-58 (2009). (査読無)

[その他]

ホームページ

<http://e.kankyo.tohoku.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

木崎 彰久 (KIZAKI AKIHISA)

東北大学・大学院環境科学研究科・助教

研究者番号: 60344686

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: