

キャビテーション・ジェットの挙動・壊食特性ならびに キャビテーション効果に関する研究

小 林 和 徳

要 旨

ウォータージェットは、材料の切削、切断およびピーニングなどの特殊加工あるいは構造物の解体、洗浄技術、液体や燃料の微粒化、さらには医療技術等の様々な分野の応用が試みられている。それに伴って、要求される性能は拡大しつつあるが、その基本となるのは壊食性能であり、いかなるジェット構造を持ったウォータージェットの壊食性能が著しいかの把握が重要な研究課題となる。また、キャビテーション・ジェットあるいは気層被覆ウォータージェットなどの多種多様なウォータージェットは、キャビテーションの発生を伴うため、キャビテーション効果としての殺菌、乳化、混合、あるいは溶解作用を併せ持ち、その効果の有効利用も試みられてきている。そして、この種の課題の解明には、キャビテーション・ジェットにより形成されるキャビティの非定常的挙動を詳細に調べることが不可欠となろう。特に、キャビティの破断現象はジェット性能を左右するため、この破断と渦輪キャビテーションの関連性を定量的に調べる必要がある。また、気中ウォータージェットであっても、水面に衝突する際に気層被覆ウォータージェットへ移行する可能性の検討は、その有効射程距離を延ばせることから、工業的応用範囲の拡大に直結する。しかしながら、気中ウォータージェットが水中に突入する際のジェットの挙動および没水物体の壊食特性などについては不明である。さらに、キャビテーションの発生は、ソノケミストリーすなわち、超音波の衝撃破壊などの物理的作用あるいは局所的な高温・高圧を利用した化学的・生物学的作用を伴うことでもあり、工業面での有効利用の試みが多い。しかしながら、キャビテーション効果は、キャビテーションのタイプに強く依存しているため、キャビテーションの質的差異に十分配慮した議論が不可欠である。よって本論文においては、本論文は、キャビテーション・ジェットの性能に直結するキャビテーション・ジェットあるいはキャビティ表面の非定常的挙動、気層被覆ジェットの発生に伴う壊食特性と気層被覆化の挙動、さらには、二種の異なる気体性・蒸気性キャビテーション・タイプにおけるキャビテーション殺菌効果の相違を定量的に明らかにした。

すなわち本論文は、第1章の緒論を含め以下の各章より構成されている。

まず、第2章では、キャビテーション・ジェットの性能に直結するキャビテーション・ジェットの非定常的挙動を特徴づけるキャビティの破断あるいは気泡雲の挙動に着目し、これまで言われていたようにキャビティ破断は渦輪キャビテーションの発生と完全には同期していないことを高速度画像と画像処理法により詳細かつ定量的に明らかにした。その結果、渦輪キャビテーションの発生周波数は約1 kHzであり、キャビティ破断あるいは気泡雲の破断・放出周波数670 Hzとは一致しな

学位記番号と学位：第25号，博士（工学）

授与年月日：平成17年3月19日

授与時の所属：大学院工学研究科機械システム専攻博士後期課程

いことをはじめて明示した。このことは、キャビテーション・ジェットの破断周波数の制御は渦輪の発生周期を変えても制御できないことを暗示している。

次に、第 3 章では、ウォータージェットの工業的な適用分野の利用拡大を目的とし、没水させた物体に気中ウォータージェットを衝突させた際の衝突ジェットの気層被覆化の可能性とその壊食特性を調べた。その結果、気中ウォータージェットが水面に衝突する際のジェットの気層被覆化を確認し、気層被覆ジェットによる没水物体への壊食性能の向上の可能性を明示した。

引き続き、第 4 章では、キャビテーション殺菌効果をノズルを通るフローキャビテーションと振動キャビテーションの二種のキャビテーターにおいて、生理食塩水中の大腸菌の生残率などを調べた。そして、殺菌効果はキャビテーションが蒸気性が気体性かにより大差があり、蒸気性キャビテーションによる殺菌効果が著しいことを示した。また、SEM 観察により、大腸菌の死滅にはキャビテーション衝撃パルスによる細胞膜の破壊も一因である可能性も示し得た。

最後に、5 章は結論である。

以上、本論文はキャビテーション・ジェットの性能に直結するキャビテーション・ジェットの非定常的挙動を詳細に調べ、キャビティ破断が渦輪キャビテーションの発生と同期していない事実をはじめて明示した。この事実は、既存の事実の変更を迫る重要な成果であり、キャビテーション・ジェットの挙動を制御し得る可能性も暗示させた。また、気中ウォータージェットの気層被覆ウォータージェット化は壊食特性の向上をもたらし、気層被覆ウォータージェットの利用拡大の可能性を示した。さらに、キャビテーション殺菌効果は蒸気性キャビテーションの場合でのみ有効であり、発生させるキャビテーションのタイプの制御が必要であることを示した。すなわち、本研究成果はキャビテーション・ジェットならびに気層被覆ウォータージェットの性能向上に直結し、ウォータージェットの応用技術に関連した有意義な成果である。また、キャビテーション殺菌効果には蒸気性キャビテーションの発生が必要であることを提示した。

すなわち、本研究はキャビテーション・ジェット応用技術の発展に貢献できる資料を提供できたと考える。

主指導教員 伊藤幸雄

The Peculiar Behavior and Erosion Characteristics of Cavitation Jet and the Associated Cavitation Effects

Kazunori KOBAYASI

Abstract

The cavitation jet technique has progressively developed in several industrial fields, such as material cuttings and peenings of special processing, bark-ups of structures, cleanings, atomization of liquids and fuels. The performance accompanied with those applications will be desired; the erosion performance is the foundation for them. Therefore, it is important to study how the structures of jet will work for the erosion performances. The use of effective cavitations has been made of in the sterilizations, emulsification, and mixings or melting as well as in various water jets such as cavitation water jets and air-coated water jets. And, so as to clarify this kind of problem, it is needed to examine the unsteady behavior of cavity formed by water jets. Specially, the clarification of the erosion performance bigger the cavitation comparison with water jet in air has been driven to despair industrially. But, in water jet into water, the air-coater jets are attracted attention, which can extend the effective range distance, because in the water the impulsive force of water jets will become suddenly lower as the standoff distance increases. On the other hand, it is necessary to define about the behavior of jet as water jet in air impact into water or the erosion characteristic of the submerged objects involves that. Furthermore, there are some attempts using the Snochemistry, which uses cavitation, that is, the physical action with impact distraction of ultrasonic waves, and the chemical and biological action that use partially high temperature or high pressure. However, cavitation effects vary with cavitation, and so, the qualitative difference of cavitation bubbles need to be considered sufficiently.

Therefore in this paper, the study was done with the high-speed image processing as the method to clarify the cavitation jet directory connected to the performance of cavitation jet and the unsteady behavior of cavity surface. Also, it was attempted to examine the relations between the behavior of air-coated water jets formed as the water jet collide with submerged specimens and the submerged specimens. Furthermore, it was attempted to examine the sterilization effects accompanied with the occurrence of two different kinds of cavitation, regarded as not the obstacles like deterioration of performance and oscillation but as the effects of cavitation with the occurrence of partially large impact pulses.

That is, this paper consists of each following chapters including the introduction in chapter 1.

First of all in chapter 2, the use of the high-speed image processing methods enables to

confirm fully detailed and quantitatively that the discharge of cavity does not completely synchronized with the occurrence of the vortex ring cavitation, aiming at the discharge if cavity jets connected directory to its performance and the behavior of bubble clouds. As a result, the occurrence frequency of “bump” in the first half part is found to be about 1 kHz, which differs from 670Hz of the cavity discharges of eh rupture discharge of bubble clouds.

Next, in chapter 3, with the aim of utility expansion of water jets in the industrial fields, examining the behavior and the erosion characteristics of a jet when a submerged objects and an air-coated jet have a collision confirms the formation of air-coated cavitation by the behavior of jets and the occurrence of air-coated water jets accompanied wit it. Also, the existence of the erosion characteristics against submerged objects caused by air-coated water jets is indicated.

And, in chapter 4, it aimed at the cavitation is not the obstacles but cavitation effects, the sterilization in the two different cavitations through the nozzle, the flow cavitation and the oscillation cavitation is examined by using colon bacillus in the physiology alt solution. The result shows that the effects differ largely with the type of cavitation, whether vapor nature of gas nature, which indicates the sterilization effect is remarkable with vapor nature cavitation. Through SEM observation, it is indicated that the extinction of colon bacillus could be a cause of the destruction of cell membranes by cavitation impact pluses.

Finally, chapter 5 is a conclusion.

As mentioned above, by using the methods of the high-speed video image processing, the cavitation jet associated directory with the performance of cavitation jet or the unsteady behavior of cavity surface and the erosion characteristics accompanied by it are examined in detailed. The relations between the depth of the water and the behavior of air-coated water jet formed as a water jet collide with submerged specimens and it s erosion characteristics are specified. Furthermore, it regarded the occurrence of cavitation as the cavitation effect ; the relations between the cavitation types and the sterilization effect with two different kinds of cavitations are specified. In short, this study clarifies the unsteady behavior and erosion characteristics of cavitation jets associated directory with the cavitation jets to be improved, which may enable the unsteady nature of cavitation to be controlled. Besides, it is shown tat the cavitation effects for sterilization differ largely with the types of cavitation. And, the use of large shock pluses is indicated to contribute to the cavitation effects.

Professor (Chairperson) Yukio ITO