

研究ノート 1

ウォータージェット技術の資源開発への応用

秋田大学大学院国際資源学研究科准教授 木崎 彰久

1. はじめに

秋田大学国際資源学部 岩盤工学研究室では、古くは砂金鉱床の採掘や、水力採炭法として利用されてきたウォータージェットを資源開発や温泉メンテナンスに利用する取り組みを行っています。ウォータージェットとは、圧力を高めた水をノズルと呼ばれる小さな孔から噴射してできる水噴流のことで、噴水や水鉄砲も広い意味でのウォータージェットの一形態です。これらのウォータージェットは、圧力を上げていくほど切削力が大きくなり、大気圧の千倍ほどの圧力を加えて噴射するとコンクリートや岩石のような丈夫なものでも切断可能となります。また、点滴石を穿つとも言われますが、一つ一つの水滴が穿つ岩の量は微小であっても、それが繰り返し衝突することによって、深い穴をあけることが可能になります。

2. ウォータージェットの特徴

ウォータージェットは、一般に切断時の熱や粉塵の発生が少ない、切削時に必要な反力が小さい、破碎エネルギーを局部に集中させることができる、可燃性環境でも安全に切削作業ができる、狭い空間や高圧水中などの難条件下でも使用できる等の特徴を有しています。これらの特徴を利用して、鉱業（岩盤掘削、岩石切削、穿孔、スケール除去など）分野のみならず、土木・建設（低振動工事、水中切断、ジェットグラウトによる地盤改良、コンクリート構造物のはつり・補修など）、金属・非金属・複合材料の加工（切断、穿孔、機械部品のバリ取り、ピーニングによる表面加工など）、洗浄・剥離（パイプ内の洗浄、車・船舶・航空機の洗浄、塗装の剥離、鉄鋼製造におけるデスケリングなど）、食品加工（切断）、医療（ウォータージェットメス、傷口洗浄、注射）、消防（消火活動、救助作業時の切断や穴あけ）、船舶（ウォータージェット推進）などの多様な分野で利用されています。

資源開発分野における工学的な応用としては、1850年代に米国カリフォルニアで起こったゴールドラッシュにおける砂金鉱床採掘に使用された他、旧ソ連の炭鉱で水力採炭法として実用化されたのが端緒であるとされています。図 1 は、鉱業博物館の 3 階に展示されている水力採炭用のウォータージェットモニターです。ノズルから石炭層に向けてウォータージェットを噴射し、破碎した石炭を水とともにスラリー輸送する方法が提案されてきました。



図 1 水力採炭用ウォータージェットモニター
(鉱業博物館 3 階にて展示中)

石油、天然ガス、石炭、地熱などの分野では、地下岩盤や炭層のウォータージェットボーリングや油・ガス採取用ケーシングの原位置パーフォレーション（穿孔）、温泉や地熱発電所等の配管類や坑井内に付着した地熱スケールの除去などへ応用が進められています。このような地下資源開発の分野においてウォータージェットを利用する場合、一般的にウォータージェットは水中環境下で使用されることが多くなります。

3. 水中ウォータージェット

水中でウォータージェットを用いる場合の一番の特徴として、キャビテーションと呼ばれる流体中の低圧部に発生する気泡の発生が挙げられます。コーラなどの炭酸飲料を開栓したときに泡がでますが、これは圧力が開放されて飲料の中に溶け込んでいた高圧の炭酸ガスが気体になったからです。これに似た現象が水中でウォータージェットを噴射した際にも起きることが知られています。水中ウォータージェットの場合は、噴射したウォータージェットと周囲の水との境界に発生する強い渦の低圧部から発生すると考えられています。

発生したキャビテーション気泡が周囲の圧力によって崩壊する際に、局所的に微小な水噴流が発生し、これによる高い衝突圧力によって金属などの壊食が生ずることが知られています。図 2 は、水中でウォータージェットを噴射した際に発生したキャビテーションの気泡雲の瞬間写真です。左端にはノズルが写っており、ウォーター

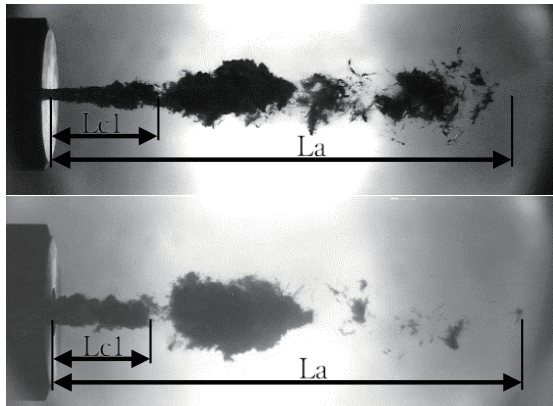


図2 水中ウォータージェットの瞬間写真
LaおよびLc1はそれぞれキャビテーション気泡雲の長さ第1キャビテーションの長さを示す

ジェットを左から右に向けて噴射しています。透過光撮影のため、キャビテーション気泡雲のシルエット像が黒く写っています。

水中ウォータージェットを用いた切削や穿孔作業では、発生したキャビテーションが性能に大きな影響を与えることが知られています。図3は、水中ウォータージェットの噴射により生じたキャビテーション気泡雲の領域の長さ(La)と、ノズルに一番近い箇所の第1キャビテーション気泡雲の長さ(Lc1)を曲線で示し、その中に、岩石の掘削体積やケーシングの穿孔面積、衝突力の変動成分が最大になる位置を重ねた結果です。岩石の掘削体積等の様々な性能は、第1キャビテーション気泡雲の長さ(Lc1)とキャビテーション気泡雲領域の長さ(La)の間で高くなっていることが示されています。これは、水中ウォータージェットの噴射によって発生したキャビテーション気泡雲が、Lc1とLaの間で周期的に崩壊しており、その際に発生する高い衝撃力が高い掘削性能を生み出しているためと考えられます。したがって、水中ウォータージェットを用いて、キャビテーションによる効果を積極的に得るためには、ノズルからターゲットまでの距離をLc1とLaの間に設置すると良いといえます。

キャビテーション現象は、水力発電所のタービンなど水力機器の損傷や振動を引き起こす原因となるため厄介者とされてきましたが、水中ウォータージェットでは、このキャビテーションを工学的に積極活用し、切断性能を向上させたり、材料表面に残留圧縮応力を導入して疲労寿命の向上に役立てたり、機械材料のバリ取りを行うことで環境負荷の低減に貢献しています。

4. 温泉メンテナンスへの利用

近年、温泉熱を利用して発電を行うバイナリー式温泉発電が環境に優しい発電方法として注目されています。温泉発電所の安定的運用のためには、温泉配管に付着する温泉スケール（湯の華）を効率良く除去する技術が必要です。温泉スケールの除去方法の一つとして

ウォータージェットを用いた方法が利用されています。ウォータージェットは、水のみを用いた除去法ですので、本質的に温泉成分に影響を与えることがないことが最大のメリットです。図4は、長崎県小浜温泉において実施された温泉スケール除去の現場実証実験の様子ですが、配管長50mの配管内に付着した厚さ15mm程度のシリカスケールを半日の作業時間で除去できることを実証しました。また、図5に示すようにウォータージェットによって配管に損傷を与えることなく温泉スケールの除去が可能であることが確認できました。

秋田県も日本有数の温泉県であり、このような技術を活用しながら再生可能エネルギーの一つである温泉熱エネルギーの利用が促進されることを期待しています。

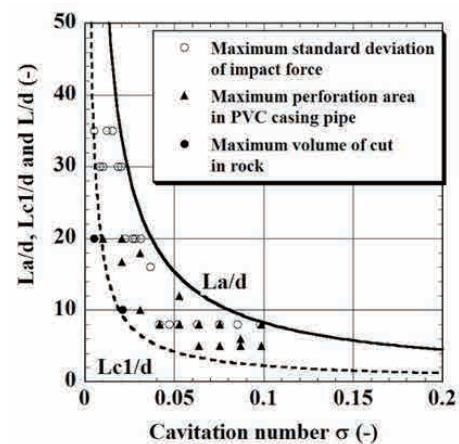


図3 キャビテーション気泡雲の長さや衝撃力や穿孔面積および切削性能との比較



図4 温泉配管スケールのウォータージェット除去実証実験の様子

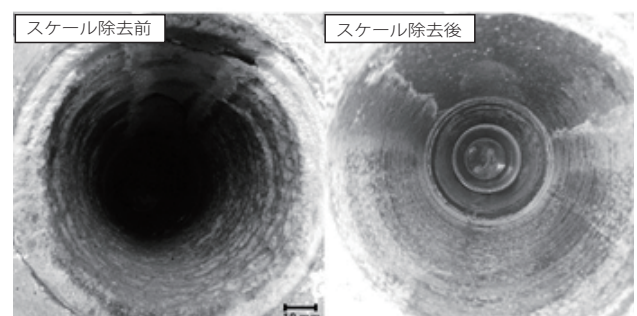


図5 ウォータージェット洗浄前後の配管内写真