

ウォータージェットによって生じるクラック内圧力のモデル化測定

千葉工業大学 学生会員 志村洋平
 千葉工業大学 学生会員 加藤貴春
 千葉工業大学 フェロー 足立一郎

1. はじめに

ウォータージェットを利用してコンクリート、岩石等、対象物を掘削、破壊する際には、従来からの原理として動圧による破壊、衝撃荷重による破壊、キャビテーション壊食、間隙水圧によるくさび効果等の様々な効果¹⁾が微妙にからみあっており、掘削、破壊の機構は未だ解明に至っていない。

そこで本実験では、ウォータージェット掘削時の対象物内に存在するクラックに着目し、クラックをモデル化した装置を用いて、ウォータージェットによって発生するクラック内部での圧力を測定し、破壊に与える影響を考察する基礎的実験を行った。

2. 実験概要

2.1 実験設備及び装置

今回使用した設備として、ポンプは最大吐出流量 13.5l/min、吐出圧力が常用 250MPa のものを使用した。ノズルはオリフィス型で、ダイヤモンドノズル WND 080 を使用し、ノズル位置の移動やスタンドオフ設定には、YASKAWA の多関節ロボットを使用した。

本実験で使用したクラック内圧力測定装置を図 1 に示す。1つの装置につき 3 種類のクラックを想定した溝 (0.3×1mm, 0.3×2mm, 0.3×4mm) があり (図 1: 平面図)、さらに深さが異なる装置が 3 種類 (10mm, 30mm, 50mm) ある。クラック深さに対して垂直に高圧用圧力変換器を取り付け (図 1: 断面図)、レコーダーで記録した。また、噴流状態の目安として行ったせき止め圧測定での装置を図 2 に示す。装置ベース部にジルコニアを設置し、ジルコニアの中心にある孔 (φ: 0.3mm) から高圧用圧力変換器によって圧力を測定し、レコーダーで記録した。

2.2 実験条件

本実験での主な条件は、ノズル径 0.5mm, 0.8mm, 1.0mm、吐出圧力 50MPa、送り速度 1.0mm/sec、スタンドオフ 40d, 60d, 80d (d: ノズル径)、レコーダーのサンプリング間隔 1ms である。クラック内圧力測定装置の条件は表 1 に示す。せき止め圧測定も同条件で実験を行った。

2.3 実験手順

クラック内圧力測定装置に高圧用圧力変換器を取り付け固定する。スタンドオフはノズルから装置平面までの距離である。ウォータージェットを噴射し、ノズルを動かしてクラック内の圧力が最大となる点を探す。この点をクラック内圧力とした。この点を通り、クラック長さに対して直角に交わる方向にノズルを動かし圧力を測定した。せき止め圧測定では、図 2 で示したジルコニアの中心にウォータージェットを噴射し、ノズルを動かして圧力が最大となる点を探す。この点を噴流中心とし、この点を含む一方向にノズルを動かし圧力を測定した。

3. 実験結果及び考察

3.1 クラック内圧力測定値

図 3 はクラック深さ 10mm、スタンドオフ 40d での各ノズル径によるクラック内圧力を示したものである。縦軸に吐出圧力に対するクラック内圧力の割合を示している。最大では吐出圧力に対して約 80% の圧力が検出され、最小では吐出圧力に対して約 10% の圧力が検出された。

3.2 クラック長さとクラック内圧力の関係

図 4 はノズル径 0.8mm、スタンドオフ 40d、クラック深さ 10mm でのクラック長さの変化によるクラック内圧力を示したものである。クラック長さが小さくなるほどクラック内圧力は大きく検出されている。

図 5 は、ノズル径 0.8mm、スタンドオフ 80d、クラック深さ 50mm、クラック長さ 1mm でのクラック内圧力を示したものである。どの測定点でも同じ圧力が検出されている。このことからクラック内は等圧になっていることが考えられる。これはクラック長さ 2mm でも見られる。しかし、図 6 のクラック長さ 4mm でのクラック内圧力を示したものは、測定点 5mm のみが他の測定点

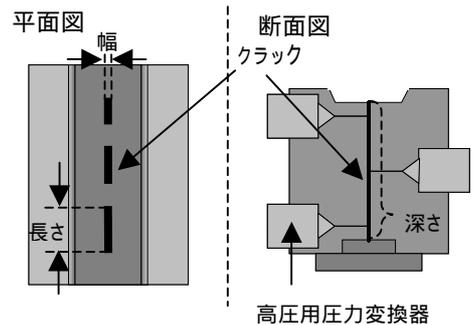


図 1 クラック内圧力測定装置

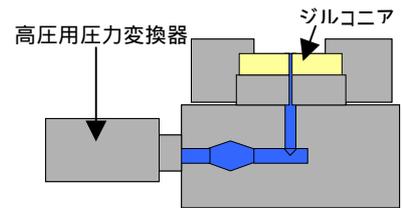


図 2 せき止め圧測定装置

表 1 クラック内圧力測定装置条件

深さ	幅	長さ	圧力測定点位置
10mm	0.3mm	1mm	5mm
30mm		2mm	5mm, 25mm
50mm		4mm	5mm, 25mm, 45mm

* 測定点は装置の上からの深さ

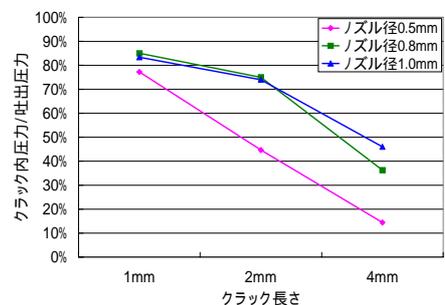


図 3 各ノズル径によるクラック内圧力 (クラック深さ 10mm スタンドオフ 40d)

キーワード: ウォータージェット, クラック, 噴流幅

連絡先: 〒275-0016 千葉県習志野市津田沼 2-17-1 TEL047-478-0440

と比べて、ピーク時に圧力が若干低くなった。

図5, 図6のようなクラック内圧力になった原因として、次のように考察した。ノズル径0.8mmのとき、クラック長さ1mm, 2mmのクラックでは等圧になる傾向が見られたが、これはクラック長さがウォータージェットのスプレー幅の中に収まり、クラック内部からの水の流出が少ないため、クラック内部が静水圧に近い状態となっていたと考えられる。また、クラック長さ4mmの場合、測定点5mmのところで圧力が低くなった理由としては、スプレー幅よりクラック長さが大きく、25mm ないし45mmより浅いので、クラック内部からの水の流出が多くなり、圧力が低下したと考えられる。

3.3 噴流幅とクラック長さの関係

図7はせき止め圧測定より得られたノズル径と噴流幅との関係を示したものである。このデータとクラック内圧力測定のデータを比較し、噴流幅とクラック長さの関係性を考察した。

前述の図3を見ると、クラック長さ1mmのときでは全てのノズルの噴流幅が1mm以上(図7)であるため、全てのノズルで高い圧力が検出されているが、クラック長さ2mmのときを見ると0.5mmのノズルだけ大幅に圧力が減少していることがわかる。これは図7で0.5mmのノズルの噴流幅が2mm以下になっていることから、クラック長さが噴流幅より大きくなったためクラック内部からの水の流出が多くなり、圧力が大幅に減少したと考えられる。また、クラック長さ4mmのときは、残りの2つのノズルで大幅な圧力の減少が見られる。これも上記と同様に噴流幅が4mm以下のため、クラック内部からの水の流出が多くなったことから圧力が低下したと考えられる。

3.4 クラック成長とクラック内圧力の関係

本実験で得られたデータはクラックをモデル化したものであり、一定状態に存在する圧力であるが、実際のクラックは圧力によって成長していくものである。そこで考察の一環として、M.Mazurkiewiczらの研究²⁾で用いられているクラックの成長に要するよどみ圧の計算式から、一般的な岩石のクラックの成長に要する圧力値を算出し、本実験での圧力と比較した。

M.Mazurkiewiczらの研究では以下の式を用いている。

$$\sigma_{\max} = \sigma_o \left(1 + \frac{2b}{a} \right)$$

σ_{\max} : 物体の引張強度 (MPa)

a : クラック幅 (mm)

σ_o : クラックの成長に要するよどみ圧 (MPa)

b : クラック長さ (mm)

今回は岩石に幅0.3mm、長さ1mmのクラックがあると想定して上記の式で計算をした。その結果を表2³⁾に示す。本実験ではクラック長さ1mmでの最小圧力は、吐出圧力50MPa時に約29MPaであり、表2のクラック成長に要するよどみ圧より大きいので、岩石はウォータージェットでも容易に破壊に至るものと考えられる。

4. まとめ

クラック内部での圧力は、吐出圧力に対して最大で約80%、最小で約10%の圧力が検出された。

クラック長さが短いほど検出される圧力は高い。

噴流幅がクラック長さより大きいとき、クラック内部からの水の流出が少なくクラック内部での圧力は高くなり、小さいとき、クラック内部からの水の流出が生じてクラック内部での圧力は低い。

本実験で得られた圧力は、クラックを成長させるのに十分な圧力である。

参考文献

- 1) 資源・素材学会, ウォータージェット掘削・応用百科, 1996
- 2) Dr.M.Mazurkiewicz, Dr.J.White, Dr.G.Galecki, A model study of the water pressure distribution in a crack when impacted by a high pressure water jet, 8th International Symposium on Jet Cutting Technology, 9-11 September 1986, pp.189-193
- 3) 土木材料ハンドブック編集委員会, 土木材料ハンドブック, 1968

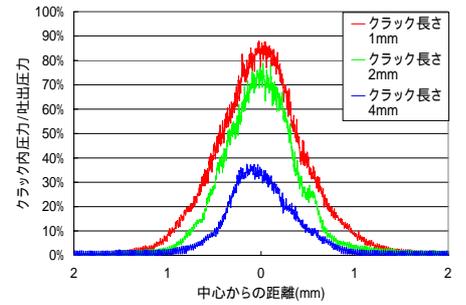


図4 クラック長さの変化によるクラック内圧力 (ノズル径0.8mm, スタンドオフ40d, クラック深さ10mm)

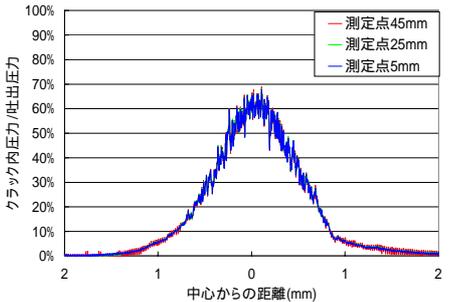


図5 クラック内圧力 (ノズル径0.8mm, スタンドオフ80d, クラック長さ1mm, 深さ50mm)

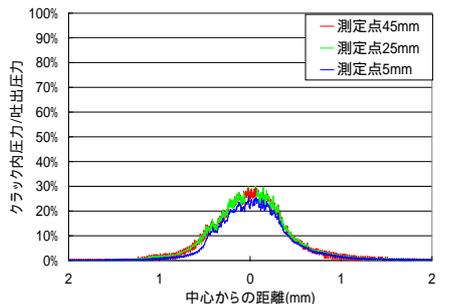


図6 クラック内圧力 (ノズル径0.8mm, スタンドオフ80d, クラック長さ4mm, 深さ50mm)

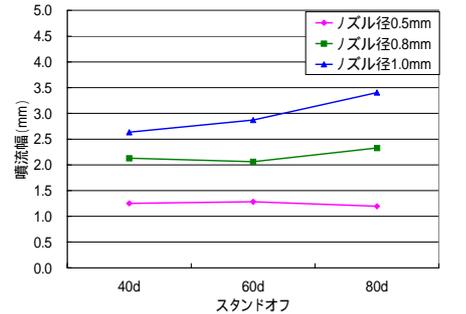


図7 ノズル径と噴流幅の関係

表2 クラック成長よどみ圧

岩石	引張強度 _{max} (MPa)	マイクロクラックの成長に要するよどみ圧 _o (MPa)
花崗岩	約7.0	1.0
大理石	5.0 ~ 6.0	0.7 ~ 0.9
石灰岩	3.5	0.5
砂岩	0.7 ~ 1.5	0.1 ~ 0.2