

ウォータージェット切削での材料との相互関係に関する研究

千葉工業大学 学生会員 呉 紅軍
千葉工業大学 正会員 森 弥広
千葉工業大学 フェロー 足立一郎

1. はじめに

現在、ウォータージェット(WJ)技術は様々な産業分野から注目され、新しいテクノロジーとしてその応用は広がっている。土木建設分野でも高圧力を生み出す強靱なパワーを持つWJの特徴を利用した工法は実用化されつつある。例えば地下トンネル掘削での岩石、既存構造物などの障害物の除去に補助的的工具として使われた例はすでに報告されている。しかし、WJによる材料の破壊メカニズムに関しては未だ不明な点が多い。そこで、この破壊メカニズム解明の基礎的データの収集を目的に、実験的研究を行った。

本研究ではモルタル或はコンクリートで作成した供試体を気中で送り切削を行い、WJと材料の特性との相互関係を調べた。

2. 実験設備及び実験方法

(ア) 実験設備

今回の実験で使用したポンプの最大吐出流量はエンジンの回転が1800rPm時、13.5 l/minで吐出圧力は常用250MPaである。

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、直径は0.80mmである。(Fig.1)

上記の設備での吐出流量は以下の式による。Dはノズル直径(mm)、Pは吐出圧力(MPa)である。

$$Q=1.6 \times D^2 \times P^{1/2}$$

WJのパラメーターである送り速度、スタンドオフ、角度の調節はYaskawaの工業ロボットMOTOMANを使っている。

(イ) 供試体及び実験方法

実験では三種類の供試体を作成した。モルタルAとコンクリートのブロックのサイズは550×250×150mmで、モルタルBのブロックのサイズは200×200×200mmである。モルタルAの細骨材は山砂を使用し、モルタルBは豊浦砂を用いた。コンクリートの粗骨材の最大寸法は25mmである。三種類ともW/Cは50%で、圧縮強度と引張強度は表1に示している。

表1 供試体の物性値

供試体種類	圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
モルタルA	50.0	3.3
モルタルB	44.0	3.4
コンクリート	44.0	3.1

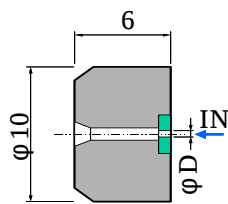


Fig.1 ノズル外観図 (WND)

三種類ともWJの処理条件は以下に示す通りである。

吐出圧力P: 100MPa 送り速度V: 10mm/s

ノズル径D: 0.8mm 流量Q=一定(10.24L/min)

モルタルA(実験1)に関してはスタンドオフを20mm~500mmまで20mmずつ変え、ノズル軸は供試体表面に垂直にして、切削を行った。モルタルBとコンクリート(実験2)では骨材の影響を調べることを目的にし、20mm~100mmまで20mmずつスタンドオフを変えながら切削した。モルタルAでは切削後、切削過程で飛散した剥離の破片を再度組み合わせ、剥離が起こる時のノズルの位置を確認した(参照Fig.2の1と2)。切削溝の深さと断面形状はレーザー変位計を使って測定し、サンプリングデータは0.8mm毎に一点を取って深さを測定した。表面と溝の底を測定することによって断面形状を描いた(Fig.2の4)。モルタルBとコンクリートは切削後、レーザー変位計で平均深さを測定し、断面形状でコンクリートの骨材の位置を確認した。

3. 切削と剥離のメカニズム

上で述べている溝はWJを供試体の表面に対して送り切削を行う時形成されたのである。G.Rehbinderによればある点において作用時間 $T=D/V$ 下で、よどみ点圧力(P_0)が供試体の破壊限界圧力(Threshold Pressure, P_{th})以上である時切削が行われる¹⁾(Fig.3の1)。しかし、実験1ではFig.2の3から分かるように切削過程では実際剥離も発生している。この現象はほぼ各々のスタンドオフで確認された。剥離が生じて飛散した破片を組み立てた写真(Fig.2の1)と切削後の溝を測定した断面図(Fig.2の4)を合わせて以下の現象が見られた。

剥離が起こる時ノズルの位置では送り方向から見て、その直前の点より相対的にかなり深く掘れている(6mm以上)(Fig.2のと)。

剥離が起こる時ノズルの位置では骨材が確認されている(Fig.2の)

切削溝ではWJが通ってもその切削跡が確認できないところがある(Fig.2の3)

上記の三点から剥離が起こる原因として以下の2つのケースが考えられる。まずは上で述べたと起こるのは切削が進行中、ある点でその直前の点より深く掘れてそこで水が貯まる。逃げ道が無くなった水は作用時間Tの間で衝突されてくるジェットにより高圧が生じると考えられる。この高圧が材料の破壊限界圧を超える場合剥離が発生すると思われる(Fig.3の2)。上で述べたについては次のよ

Keyword: ウォータージェット よどみ圧力 破壊限界圧力 剥離 骨材 侵食速度

連絡先 〒275-0016 千葉県習志野市津田沼 2-17-1 千葉工業大学大学院構造研究室 TEL:047-478-0440 FAX:047-478-0474

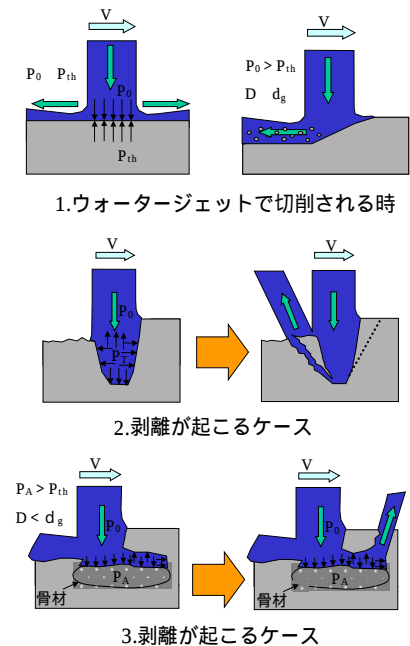
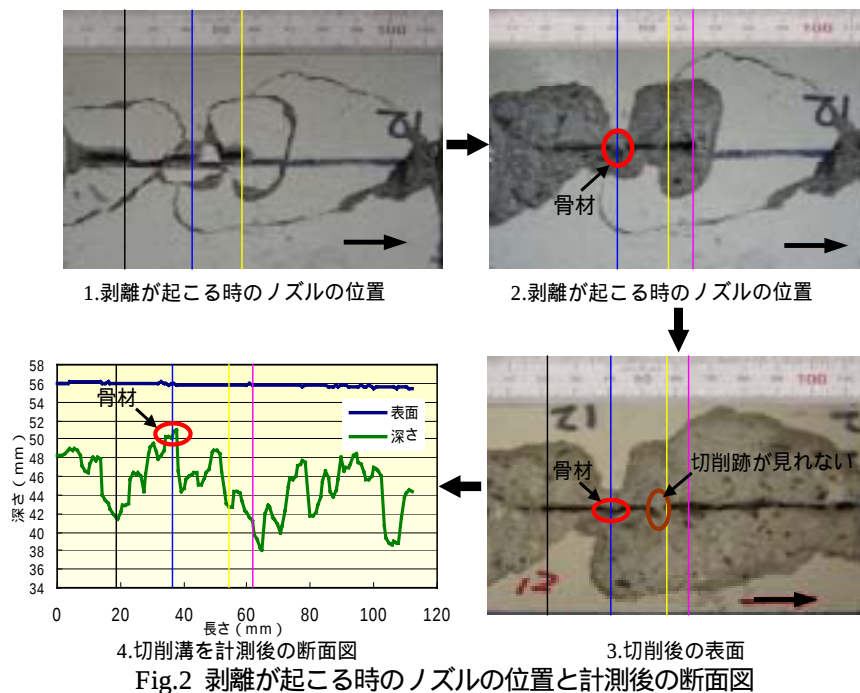


Fig.3 切削及び剥離のメカニズム

うに考えられる。骨材の直径がジェットの径より大きくて作用時間 T の間で骨材が侵食される時の進行速度 $v_A = \Delta h_A / \Delta t$ が骨材に沿って進行する速度 $v_C = \Delta l / \Delta t$ より遅い。それで、作用時間 T の間で骨材に沿って進行した噴流により生じる圧力が材料の破壊限界強度を超える時剥離が起こると考えられる (Fig.3 の3)。

次に、切削溝が Fig.2 の4のような形状を呈するのはポンプの増圧機の圧力変動と材料の性質によるものと考えられる²⁾。本実験での設備の圧力変動率は $\pm 10\%$ である。しかし、吐出圧力を 100MPa から 120MPa まで変えて切削した実験では圧力の変化点で必ずしも剥離が起こっていない。このことより、圧力変動が剥離の原因であるとは考えられ難いから剥離は主に材料の性質によって起こるものと考えられる。つまり、骨材の分布位置、供試体製作時などで生じた材料の不均一さなどが考えられる。

4. 骨材の影響

実験2ではモルタルBとコンクリートの送り切削を行い、骨材の影響を調べた。Fig.4は切削深さを比較したグラフである。このグラフから見られるようにコンクリートの切削深さはモルタルBより小さい。Fig.5はモルタルBとコンクリートを切削後、レーザー変位計で測定した断面形状を比較した図の一例である。この図から見られるようにコンクリートの骨材の位置(赤い丸)で切削深さは顕著に減少されている。

このことより、WJにより材料を切削する場合骨材の強度、及び分布は切

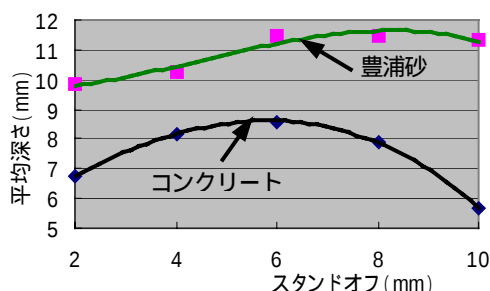


Fig.4 平均深さ比較図

削深さに大きな影響を与えと考えられる。

これには二つの原因があると考えられる。一つは骨材が侵食される進行速度 v_A が骨材のない所の侵食速度より遅い。

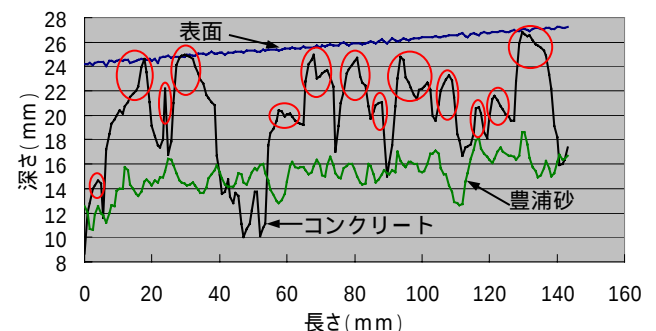


Fig.5 断面形状比較図

一方、 v_A が v_C よりも遅くなって、剥離が発生して圧力が開放され骨材の侵食速度がもっと遅くなる。これらの総合作用によって骨材の切削深さが骨材のない所より浅くなったと考えられる。

5. おわりに

WJ による切削で材料との相互関係を調べるためにモルタル及びコンクリートに対して送り切削実験を行った。送り切削で剥離が起こる原因として材料の構成特性及び材料の不均一さであることが分かった。そして、材料の構成が(骨材の大きさ及び分布位置)切削に大きな影響を与えることが判明した。なお、今回の実験結果は吐出圧力が 100MPa である時であって、より高い圧力での検討が今後必要だと思われる。

参考文献

1. G.Rehbinder Some Aspects on the Mechanism of Erosion of Rock with a High speed Water Jet Proc.3rd Int'l Symp Jet Cutting Tech.,BHRA
2. 東海林秀行 中島忠男 超高压水ジェットによる岩盤掘削 港湾技術研究所報告