ウォータージェット反射音による前方探査システムに関する基礎的研究

千葉工業大学大学院　学生会員　萩澤　勝
千葉工業大学大学院　　秋山　昌史
千葉工業大学工学部　正会員　伊東　良浩
千葉工業大学工学部　フェロー　足立　一郎

1.はじめに

市街地でのトンネル掘削ではその計画線内に掘進機に取り込むことのできない転石などの障害物が出現する場合があり、これらの撤去には困難を伴うことが多く問題となるためウォータージェットを併用した工法が行われている。施工前の土質調査は行われるが、実際掘削する場合不意に障害物が現れることがある。障害物の位置がわからない状況でジェットを噴射すると特に砂地盤では地山を乱す恐れがある。そこでウォータージェットを併用したトンネル掘削を有効に行う為に前方探査システムの開発が急がれており、既往の研究でウォータージェットが障害物に当った時の反射音で障害物の位置、大きさがわかるとされている。

そこで本研究では基礎的実験として、障害物の強度が異なる場合の反射音特性を測定し、評価した。

2.本システムの理論

例えば図-1 のようにウォータージェットのノズルを４個取り付けた掘進機外側２個のノズルの軌跡を簡単に表したものが図-2 である。ここで、ウォータージェットの反射音を順次測定していき、a、b、c、d 点で反射音の波形に変化が現れたとすると障害物はこれら４点を囲んだ位置にあることがわかり、大きさも知ることができる。

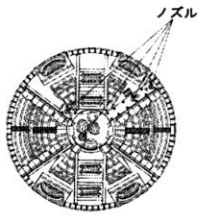

図-1　掘進機面盤

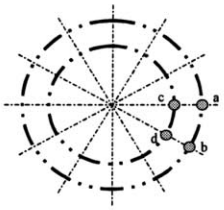

図-2　ノズル軌跡

3.実験概要

実験装置配置図を図-3 に示す。水槽内に供試体を設置し、ノズルを多関節ロボットで移動させ切削を行う。ジェット反射音は水槽上部に 1/2 インチダイナミックマイクロホンを取り付け、AD 変換器を通してノートパソコンにデータを取り込んだ。このときサンプリングタイムは 20kHz とした。疑似障害物として、モルタル１（W/C：35%、62.0N/mm²）、モルタル２（W/C：65%、31.0N/mm²）、御影石（214.1N/mm²）、鋼板、油粘土の５つを用いた。

ウォータージェットの吐出圧力は 49、98、147、196MPa の４パターンで圧力を変化させ噴射し、この５×４の２０パターンで実験を行った。

なおスタンドオフ(供試体とノズルとの位置)、ノズル径、ノズル移動速度はそれぞれ 10mm、0.5mm、4mm/sec で一定とした。

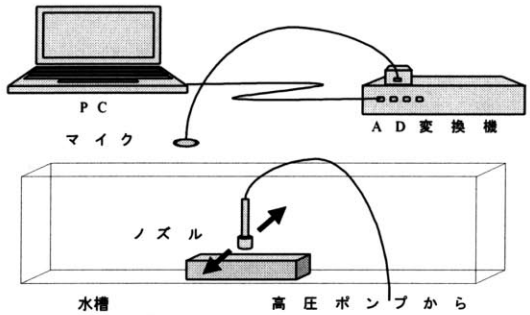

図-3　実験装置配置図

4.結果及び考察

図-4 から図-7 はそれぞれウォータージェット吐出圧力 98MPa におけるモルタル 1、御影石、粘土、鋼板の時刻歴振幅を表している。各波形において計測開始、終了の数秒間は供試体を固定するための台にジェットが当っている音が含まれている為これらを取り除き、３秒間（約 60000 個）のデータに分けて解析を行った。

図-8 は各供試体の吐出圧力と最大振幅との関係を示したものである。吐出圧力 98MPa で粘土を基

キーワード：ウォータージェット、トンネル掘削、反射音、振幅
連絡先：千葉県習志野市津田沼 2-17-1、Tel:047-478-044、Fax:047-478-0474

準に比較すると、モルタル１、２、御影石、鋼板でそれぞれ最大振幅が 2.6、2.2、4.8、7.8 倍の大きさになっている。このことから振幅つまり反射音の大きさから強度差の判別が可能であることが確認された。鋼板は唯一溝が出来なかったが、このように溝が出来ないものは、直接的に音が反射される為、吐出圧力と最大振幅は比例する。したがって溝の大きさが振幅を左右する。次に吐出圧力すなわち切削深さが反射音の大きさに影響を与えるのではないかと考え、図-9 に切削深さと最大振幅の関係をまとめた。強度が大きく切削が困難な御影石は、吐出圧力が大きくなると反射音つまり最大振幅も大きくなる。一方で、切削が容易なモルタルでは切削深さが深くなるにつれて、最大振幅は小さくなっている。これは切削深さが深くなるにつれて、反射音が溝の奥の方で発生し、さらにその溝に水が入り、音が減衰させられた為と考えられる。

図-10、図-11 は吐出圧力 98MPa における、モルタル１、御影石の波形データから FFT（高速フーリエ変換）処理により求めた周波数スペクトルである。モルタル１では各周波数において周波数振幅の大きさがほぼ均一であるのに対して、御影石では低周波音に比べて相対的に高周波音が強く出ていることがわかる。これはモルタルではウォータージェットによる切削深さが短時間で深くなり、反射音の大きさと同様の原因で高周波音が出にくくなった為と考える。御影石においても、ウォータージェットの吐出圧力が高くなり、切削深さが深くなるにつれて、周波数振幅が均一になっていった。モルタル２、粘土はモルタル１と同様になり、スチールは御影石以上に高周波音が出ていた。以上のことから、強度の大きいものは高周波音が大きく出るという傾向があり、ウォータージェット反射音の大きさのみではなく、音質からも強度の判別が可能であることがわかった。

5.おわりに

以上本実験から、切削対象物の強度が大きくなるにつれて、ウォータージェットの反射音も大きくなること、切削対象物の強度の大きいものは、低周波音に比べて高周波音が強く出ることが得られた。これらの音の差は、切削深さとの関係によるものと推察する。

図-4　モルタル１

図-5　御影石

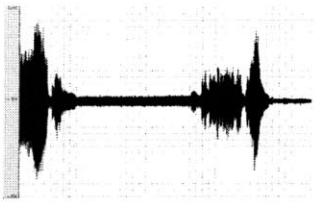

図-6　粘土

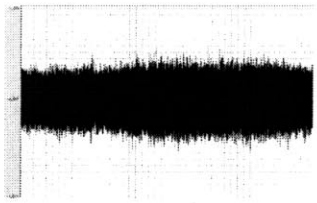

図-7　鋼板

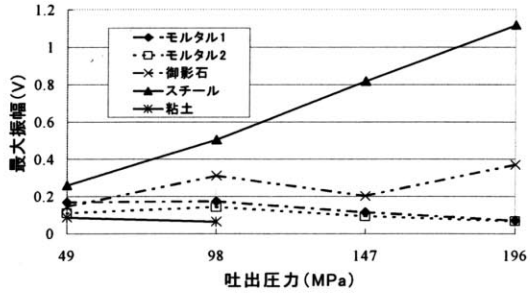

図-8　吐出圧力と最大振幅の関係

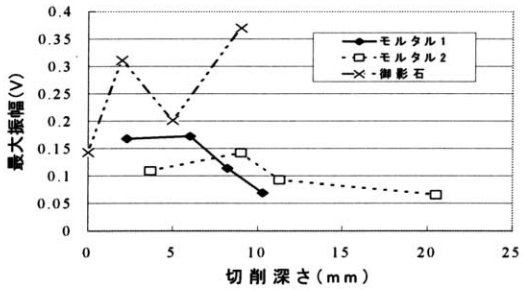

図-9　切削深さと最大振幅の関係

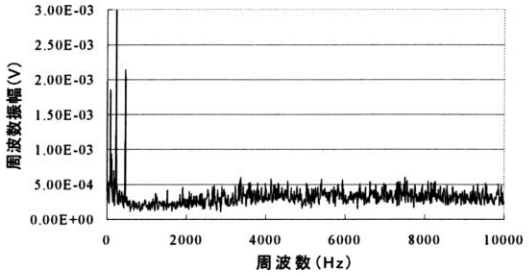

図-10　周波数分析結果（モルタル１）

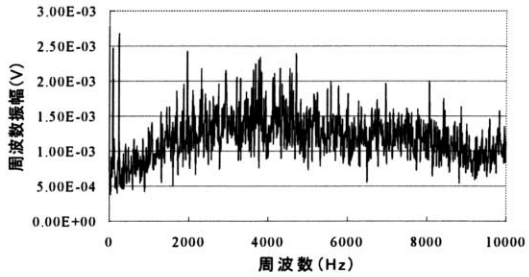

図-11　周波数分析結果（御影石）