

Ⅲ-14 トンネル掘削における高圧水ジェットの利用

日本国土開発(株) 佐々木 宏 二
同 正会員 指 田 健 次
同 ○正会員 篠 原 文

1. はじめに 現在、数百 kgf/cm²程度の圧力の水ジェットは、洗浄、地盤改良等に実用化されているが 2000 kgf/cm²以上の高圧レベルの建設技術への応用研究が各所で行なわれている。

当社では、Flow Industries 社(アメリカ)より高圧水ジェットの発生装置及び周辺機器を昭和58年に導入し、技術研究所内にて基本性能等の習熟に取り組んできた。これらの結果を踏まえて昭和59年、宮城県内の導水路工事において、削孔作業、余堀り防止等の目的で現場実験を行なった。

2. 高圧水ジェットの各装置 圧力発生装置は、95 kW のモーターを動力とする3基の増圧機を装備している。この増圧機の増圧比は1:20であり、最高圧力3850 kgf/cm²の高圧水を発生できる。圧力発生装置より吐出された高圧水は、フレキシブルホースあるいはステンレス製のチューブによりジェット専用削岩機に導かれる。ジェット専用削岩機は、高圧水ジェットの噴射・停止操作部、エアーモーターによるロッド回転部、ロッド、及び先端のビットより構成され、手持ちタイプである。削孔用ビットの先端には2個のチップと直径が約0.2~0.6mmの孔のあいた数個のノズルがあり、このノズルより高圧水ジェットを噴射する。高圧水ジェットの噴射方向は、この削孔用ビットのように数種の角度を組み合わせたタイプの他、軸方向に対して直角に高圧水ジェットを噴射するタイプ、鋭角に噴射するタイプ等があり、ビットを交換することで、孔壁に溝を作成したり、はつり作業等が行なえる。

3. 削孔実験結果 今回、実験を行なったトンネル部の地質は、火山角礫岩及び安山岩溶岩を主体とした凝灰角礫岩、凝灰岩等からなり、一部破砕性の凝灰岩及び粘土があらわれた。一軸圧縮強度は火山角礫岩で100~500 kgf/cm²程度、一方、破砕性の凝灰岩、粘土では3~8 kgf/cm²と非常に低い。

トンネルは、断面積11m²のほろ型断面であり、ビット径38mmの空圧削岩機にて30~40個の削孔を行なっている。一方、ジェット専用削岩機では、ビット径35mm、水压2450 kgf/cm²での削孔速度は、凝灰岩で約

1.0 m/min、破砕帯部で約1.5 m/minであり空圧削岩機と比較して同程度以下の削孔速度である。

高圧水ジェットによる孔の特徴として、下向き削孔等で孔内に切削水が残留して、緑り粉がはけにくい点や、孔壁にリブ状の凹凸が生じる点があげられる。

表-1に水压2450 kgf/cm²で削孔を行なったときの削孔速度を示す。

表-1 ジェット専用削岩機による削孔速度

岩 種	一軸圧縮強度	削 孔 速 度
凝灰角礫岩	31 kgf/cm ²	1.5 ~ 3.5 m/min
泥 岩	—	1.5 ~ 2.1 m/min
凝 灰 岩	79 kgf/cm ²	0.8 ~ 1.4 m/min
安 山 岩	539 kgf/cm ²	0.1 ~ 0.8 m/min
粘 板 岩	—	0.1 ~ 0.4 m/min
モルタル	300 kgf/cm ²	0.6 m/min

4. 余掘り防止実験結果

トンネル掘削でのS、B、発破の目的は、1) 余掘り防止、2) 掘削壁面の凹凸による応力集中の防止、3) 地山損傷による緩み防止、等があげられるが、今回は主として1)の目的で行なった。余掘り発生の要因としては、装薬量、心抜き方法、削孔パターン、地質の状態等が考えられる。S、B、発破の方法は各種あるが、いずれの方法も周辺孔の孔ピッチや装薬に工夫したところが多く、周辺孔の状態が余掘りに大きく影響すると言える。

余掘りに関して、理想的な掘削壁面の破碎は、周辺孔間を直線的につなぐ破碎と言える。しかし、現状は必ずしも周辺孔間に直線的な破碎が生じているとは言えないので、今回は周辺孔に計画掘削線に合わせた溝を作成し、この溝から発生するクラックを連結させるように行なった。溝の作成条件は、水圧2450 kgf/cm²で1孔当たり10～20秒、孔の奥から約70 cmの間とした。この時の溝の深さは、凝灰角礫岩で約5 cmである。

図-1に施工条件と余掘り率の関係を示す。ここでいう余掘り率とは、(掘削断面積-設計断面積)/設計断面積×100%で表わしている。使用爆薬は2号棟で一部、爆速を低下させたチタマイトも使用した。まず、破碎性粘土の場合、余掘り率はいずれの施工条件とも10～30%の間に集中しており、溝の効果が明確でない。この理由として、地盤強度が低いため発破後の装薬孔が大きく膨張して溝への応力集中が発生せず、粘土の目の方向に破碎されたこと、及び削孔数、薬量とも少ないので、破碎ずりが大塊となり壁面の凹凸が大きくなったことが考えられる。一方、凝灰角礫岩の場合は、普通発破工法でも余掘り率が10～15%程度と低くなっている。これは岩質が変わって、目が細くなり、かつ削孔ピッチを小さくしたためと思われる。しかし、溝の効果は明白であり、平均余掘り率が7%に低下している。実際の支保工建て込み作業を考慮すれば7%の余掘り率(支保工外面から約7～8 cmに相当)は、下限値と考えられる。

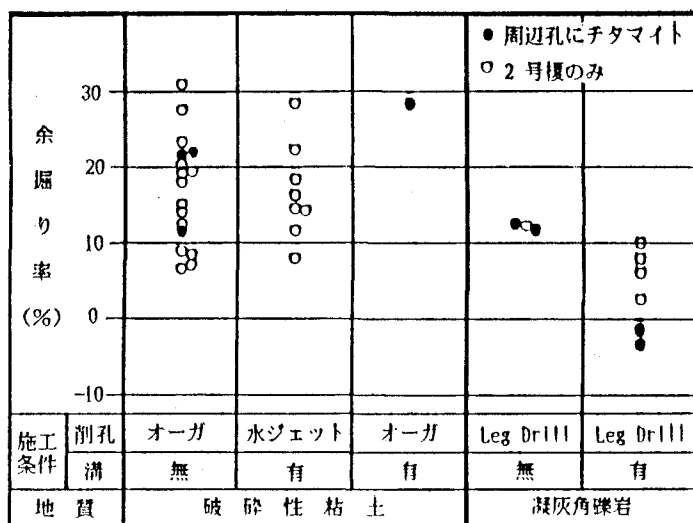


図-1 施工条件と余掘り率の関係

5. 考察

軟岩を対象とした場合には、高圧水ジェット専用削岩機で、空圧削岩機と同程度の削孔速度で発破孔の削孔が可能であることが実証されたが、経済的利点を得るところまでは至らなかった。

余掘り防止の面では、軟岩においても明らかに余掘り低下が認められ、岩質が堅く、掘削断面の大きなトンネルでは、更に効果的であることが推察される。その場合、岩質、火薬の種類、削孔パターン、心抜き方法等を含めた総合的なアプローチが必要である。

参考文献

1) 八尋暉夫ほか3名：ウォータージェットによる地盤掘削とその応用，ウォータージェット技術研究会 第1回研究発表講演会講演論文集，1984

2) 高木喜内ほか2名：ウォータージェット関連機器の現状，ウォータージェット技術研究会 第3回講演会・講演要旨集，1984