

### 高速ノンコアボーリングシステムによる前方探査技術の開発

(株)大林組 土木本部 生産技術本部 正会員 ○磐田 吾郎 正会員 斎藤 有佐  
 正会員 伊藤 哲 正会員 泉水 大輔  
 正会員 木梨 秀雄 正会員 天野 悟

#### 1. はじめに

山岳トンネルを安全かつ確実に施工するには、切羽前方の地質を事前に把握し、帯水が予想される区間では先行しての水抜きが不可欠である。従来、トップハンマ式ボーリングマシン(ロッド後尾の打撃による削孔方式)によるノンコア削孔で、前方探査や水抜きが行われている。

ところが、トップハンマ式ボーリングマシンによる削孔では、ロッド継手等でエネルギーロスが発生し、削孔長の増加に伴い、削孔速度が低下する。トップハンマ式ロータリーパーカッションドリルでは、150mの削孔に、通常3日程度を要する<sup>1)</sup>。切羽から行う削孔は、トンネル掘削を中断する必要があるため、より短時間で行うことが望まれる。

そこで、斎藤ら<sup>2)</sup>は、高速ノンコアボーリングシステムを開発した。本稿では、このシステムで地質を評価する手法を報告する。

#### 2. 高速ノンコアボーリングシステムの特徴

高速ノンコアボーリングシステムは、ダウンザホールハンマ式(先端駆動型)の水圧ハンマを採用している。ロッド先端に配置したハンマを高圧水で駆動するため、削孔長の増加による削孔速度の低下が少ない。また、削孔用ベースマシンは長さ8mのガイドセルを装備し、6m/本のロッドを使用するため、ロッド継手回数が少ない。これらにより、通常の地山で150mを1方(8時間)で削孔できる<sup>2)</sup>。



写真1 高速ノンコアボーリングシステム削孔状況

このシステムの削孔データから、地質を評価できれば、急速施工における月進相当長 L=150m の前方探査も1方で施工できる。ただし、先端駆動である水圧ハンマの打撃状況は、削孔データから把握することが困難である。

水圧ハンマは、機構上、打撃をしていない場合もハンマ先端から排水が行われるため<sup>3)</sup>、送水量と振動数が必ずしも連動しない。そこで、水圧ハンマの性能試験を行い、地山条件と打撃性能の関係を詳細に確認した。

#### 3. 水圧ハンマ打撃性能試験

模擬岩盤(セメントベントナイト:強度 1.4MPa, モルタル:強度 50・60・70MPa)を削孔し、削孔速度、給進力、トルク、送水圧、送水量とハンマ打撃数を計測した。水圧ハンマは WASSARA W80HD を使用し、φ500mm のヒューム管(L=2.43m)に、上記材料を打設して、供試体を作成した。送水量は 150 ℓ/分一定とし、給進力は、設定値 9・10kN でそれぞれ 1m ずつ削孔した。供試体の内部と側面に加速度センサを設置し、打撃数を計測した。



写真2 試験状況



写真3 加速度センサ設置状況

表1 水圧ハンマ諸元

削孔径	88-150mm
推奨送水圧	18MPa
推奨給進力	7~10kN
消費水量	130~200ℓ/min
振動数	65Hz

#### 4. 試験結果

深度ごとの、削孔速度、トルク、送水圧、単位削孔長当りの打撃数を図1に示す。ハンマの振動数は、給進力10kNの場合は、約60Hzで一定であったが、1MPaの供試体のみ、送水圧が上がらず、20~30Hzに低下した。

#### 5. 地山評価方法の考察

##### (1) エネルギー指標値による評価

水圧ハンマは、1回の打撃エネルギーが、送水圧に比例する。よって、単位削孔長当りの削孔エネルギーは、(送水圧)×(単位削孔長当りの打撃数)に比例する。試験結果から、エネルギー指標値(送水圧)×(単位削孔長当

キーワード 長大山岳トンネル, 水圧ハンマ, 切羽前方探査, ノンコア削孔, 高速施工

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南2-15-2 品川インターシティB棟 TEL03-5769-1319

りの打撃数を算出したものを図2に示す。エネルギー指標値と供試体強度に相関が見られることから、この指標値により、地山評価が可能と考えられる。

実際の地山の削孔では、打撃数の測定は困難なため、削孔速度から換算する。ハンマ振動数は、適切な給進力と送水圧の条件下では、4MPa程度の軟岩でも一定(60Hz)なため、単位削孔長当りの打撃回数は、(ハンマ振動数 60Hz)/(削孔速度)で算出できる。

(2)トルク-給進力の比例定数による評価

試験結果より、トルクと給進力の関係を図3に示す。削孔時のロッド周面摩擦がない場合、トルクは、先端の押付け力(給進力)に比例する。本試験は鉛直方向で削孔長も短いため、周面摩擦は無視できる。トルク-給進力の比例定数と供試体強度の間には相関が見られた。これは、打撃によって破碎されるビット近傍の領域が強度によって異なり、回転抵抗が変わるためと考えられる。以上より、トルク-給進力の比例定数により、地山を評価できると考えられる。

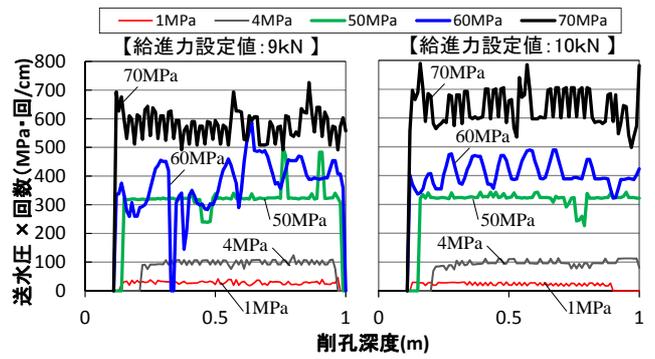


図2 供試体強度と送水圧×打撃回数との関係

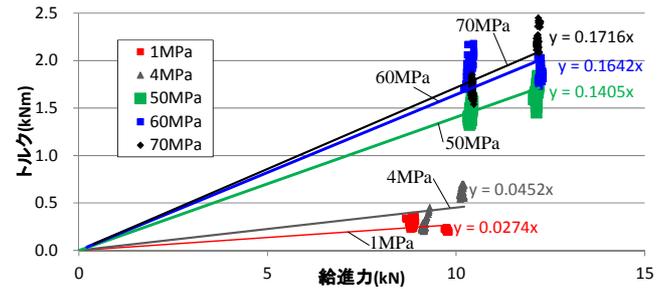


図3 トルクと給進力との関係

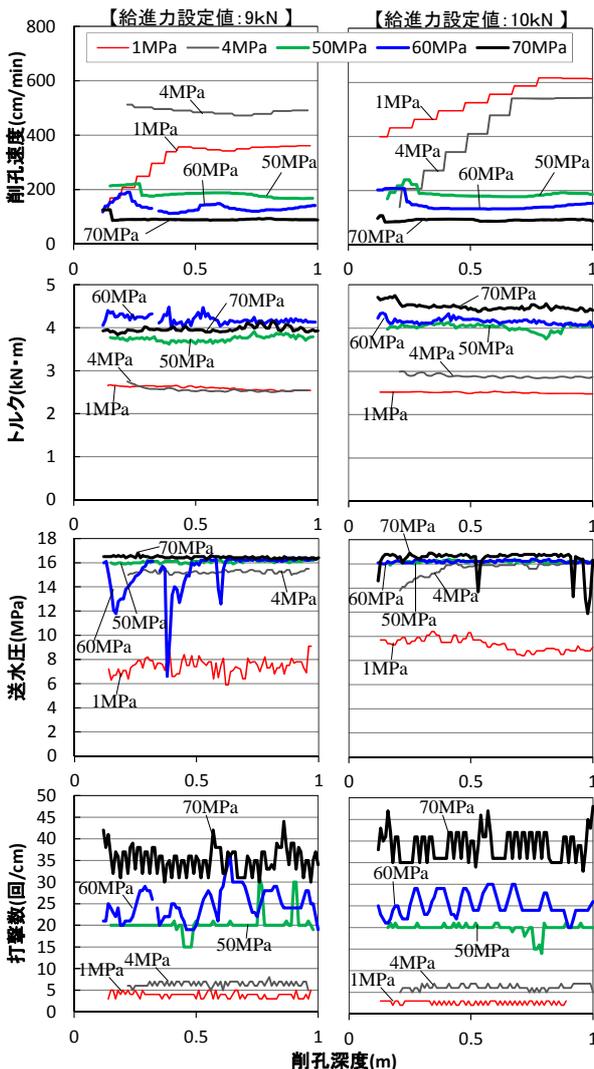


図1 水圧ハンマ打撃性能試験結果

6. まとめ および 今後の課題

- ・水圧ハンマは4MPa程度の軟岩でも、適切な給進力と送水圧があれば、一定の振動数で打撃した。
- ・エネルギー指標値および、トルク-給進力の比例定数は、供試体の硬軟と相関が見られた。この2つの指標値で、水圧ハンマによる地山評価が可能となる。
- ・1MPa程度の地山では、ハンマ振動数の低下を考慮しなければならない。そのため、振動数低下の有無を把握する手法が必要である。
- ・適切な送水量・給進力を維持することが必要となる。とくに、ロッド周面摩擦は、削孔深度・地質条件で変化するため、その影響を考慮した給進力の管理、トルクの測定が必要となる。

参考文献

- 1) 山岳トンネル先進ボーリング連載講座小委員会：連載講座『山岳トンネル先進ボーリング入門』，日本トンネル技術協会誌「トンネルと地下」2008年9月～2009年4月
- 2) 斎藤有佐，加藤直樹，木梨秀雄，高橋佳孝，伊藤哲：トンネル切羽前方高速ノンコアボーリングシステムの開発，土木学会第67回年次学術講演会，第VI部門030，2012
- 3) Tuomas G., Dynamic Model of Water Driven Rock Drill Hammer, Journal of Sound and Vibration, 2004.