

水圧ハンマを用いたノンコア削孔前方探査における地山評価手法

京都府道路公社 正会員 安田肇、秋田伸治
 (株)大林組 正会員 木梨秀雄、木野村有亮
 同上 伊藤哲、磐田吾郎、窪之内雄策

1. はじめに

山岳トンネル工事において、断層部や亀裂の卓越した脆弱部などを掘削する場合は、切羽が不安定となる恐れがあるため、切羽前方の地山状況を把握することが重要となる。また、地下水位が高く帯水層の出現が予想される場合は、事前に水抜きを行い、地下水位を低下させることが切羽安定のために必須である。

著者らはこの課題に対応する技術として、水圧ハンマを用いた「高速ノンコア削孔切羽前方探査システム」を開発した。本システムでは、150mの長距離削孔を1方(約8時間)で施工できる。

本システムは、図-1、写真-1のようなダウンザホール方式の水圧ハンマを採用しており、ロッド先端部へ直接送水した水圧で打撃力を得るため、エネルギーロスが少なく、削孔深度によらず打撃時に高いエネルギーを確保できる。このため、長距離削孔においても削孔速度が低下せず、打撃エネルギーから精度よく地山を評価できる。一方、従来から使われているトップハンマ方式ではボーリングロッドの後端部をドリフタで打撃するため、ボーリング深度が進むにつれてエネルギーロスが増大するため、削孔速度が低下し、長距離削孔ではエネルギーによる地山の評価は難しかった。

本報文では、打撃エネルギーに実際のハンマの打撃数を考慮して地山の硬軟を評価した内容を報告する。

2. 切羽前方探査に用いる地山評価指標

水圧ハンマが地山に与える打撃エネルギーは、(送水圧 P) × (打撃数 f) / (削孔速度 V) に比例する。本システムはエネルギー指標値 $E = P \times f / V$ から地山等級を予測する。本式で f はハンマ先端部の打撃数であるが、ロッド先端部はボーリング深部のため、打撃状況の把握が困難である。送水圧とフィード力が一様であれば、ハンマの打撃数が一定であるため、著者ら¹⁾はこれまでの地山評価で打撃数 f を一定としていた。しかしながら、多亀裂な不良地山等ではハンマ先端で反力が得られないため、実際の打撃数が低下した。したがって f が一定では地山等級が過大評価されている可能性がある。このため、ハンマの打撃数 f にエネルギー指標値を考慮する方法を検討した。

3. 水圧ハンマの打撃数の推定

供試体を用いた削孔を行い、ハンマの打撃数とボーリング機械側で間接的に発生する打撃数を測定した。さらに、実際のボーリング施工時のハンマ打撃数と送水圧との関係式を求めた。

(1) 供試体を用いた打撃数の測定

写真-2に示すように、80cm × 80cm × 80cmのコンクリート供試体を打撃して計測を行った。ハンマの打撃数は供試体2面に設置する加速度計で計測する振動数と仮定し、ボーリング機械側は3か所(スィベル、ガイドセル、高圧水ホース)に計器を設置し、打撃数を間接的に測定した。図-2に供試体と高圧水ホースの打撃数波形の比較を示す。グラフから供試体と高圧水ホースの打撃数はいずれも41Hzで一致している。



図-1 水圧ハンマの模式図



写真-1 水圧ハンマ wassara W80HD



写真-2 供試体削孔状況

山岳トンネル、切羽前方探査、水圧ハンマ、打撃数

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南2丁目15-2 品川インターシティB棟 (株)大林組生産技術本部 TEL 03-5769-1319

また、スイベル、ガイドセルで測定した打撃数も同様に41Hzと一致しており、どの測定方法でも、ハンマの打撃数を間接的に計測できた。

(2)送水圧と打撃数の関係

次にトンネルで実際に削孔をし、送水圧と打撃数の関係を調べた。これまでは送水圧を15Mpaに保って削孔することでfが60Hzとなっており、fを一定としてエネルギー指標値Eを求めていた。しかし、実際には地山が脆弱な場合、送水圧が低下することがわかった。

図-3に送水圧とハンマ打撃数との関係を示す。ハンマ打撃数は送水圧とともに変化し、送水圧が4.5Mpa程度以下で打撃をしなかった。これより、4.5Mpa程度以上で送水圧の一次式で線形近似できることが分かった。

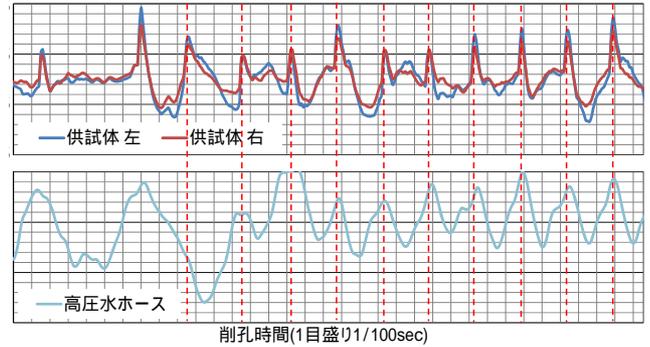


図-2 供試体と高圧水ホースの打撃数

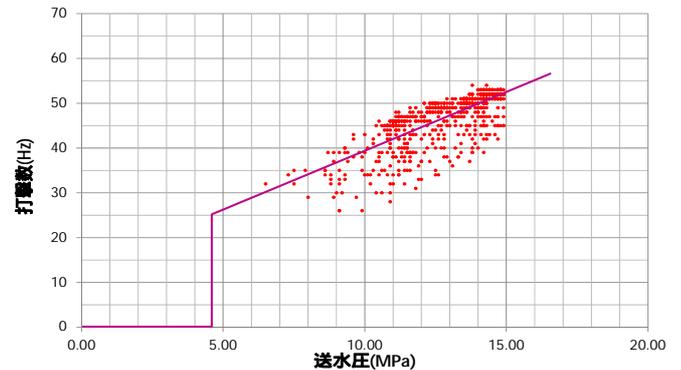


図-3 送水圧とハンマ打撃数との関係

4. 切羽前方探査結果

今回得られた、ハンマの打撃数と送水圧との関係をエネルギー指標値のfに入力して地山評価を行い、fが一定値60Hzの場合と比較検証した(図-4)。なお、グラフのA~Dは脆弱な地山が出現した区間である。A、Bは多亀裂な風化花崗岩であった。Cは黒色の破碎したひん岩貫入部であり、当初設計よりDパターンの区間である。Dは多亀裂で一部まさ化した花崗岩が出現した脆弱な地山で、TD1770付近から特に悪く、鏡面の剥落が見られた。

エネルギー指標値Eと切羽評価点はおおよそ整合しており、EによりA~Dの脆弱部をとらえている。f=60Hzのケースに比べ、f=f(P)(送水圧Pの関係式)のEが小さく、脆弱地山をより明瞭にとらえている。A、Dは150L/min程度の区間湧水量(ロッド6mあたり)が発生しており、多亀裂で水みちがあったことが考えられる。

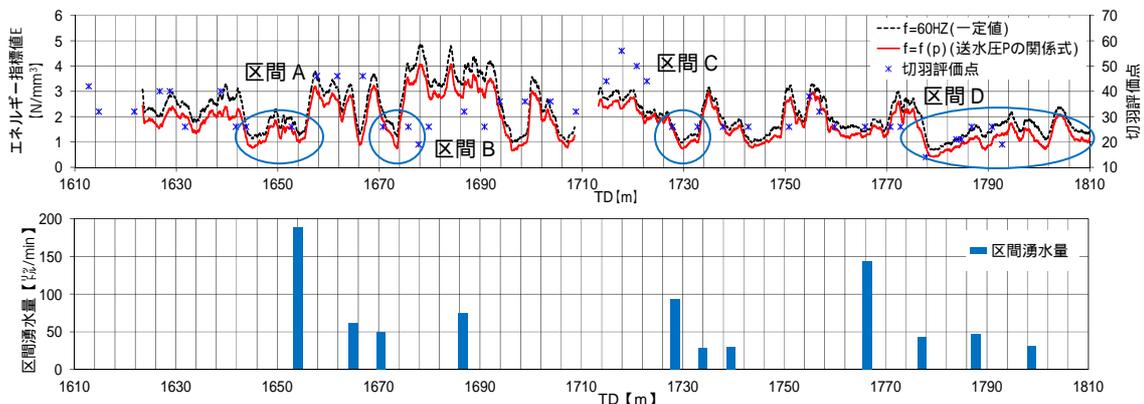


図-4 ノンコア削孔切羽前方探査結果(上:エネルギー指標値、下:湧水量)

5. まとめ

- (1) 供試体および現場での削孔データからハンマ打撃数は送水圧から求められることがわかった。したがって、送水圧のみの計測で、打撃数も考慮して地山を評価できる。
 - (2) 削孔時の打撃数を考慮して地山を評価することで、脆弱な地山をより明瞭にとらえることができた。
- 今後は各種地山でのデータを蓄積し、前方地山等級の予測精度を向上させたい。

参考文献

1) 磐田吾郎、斎藤有佐、伊藤哲、泉水大輔、木梨秀雄、天野悟：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、土木学会第69回年次学術講演会講演概要集、2014。

2) 秋田伸治、木野村有亮、木梨秀雄、桑原徹、畑浩二、渡辺淳：多湧水花崗岩地山における切羽前方探査技術の適用、土木学会第43回岩盤力学に関するシンポジウム、2015。