

トンネル切羽用打球探査技術の現場適用性評価

鹿島建設 正会員 ○川野 健一, 伊達 健介, 成田 望, 横田 泰宏, 北本 幸義
北海道開発局 旭川開発建設部 齋藤 宏樹

1. はじめに

山岳トンネル工事では、施工中の切羽において地質状況の観察・記録を行い、地山評価を実施し、それに基づき支保パターンが決定される。したがって、地山評価が非常に重要な役割を担っているが、定性的な目視観察が主体であり、観察者によるバラツキが懸念される。点載荷試験や一軸圧縮試験などの定量的評価手法も切羽観察のツールとして挙げられているが、迅速性に欠け、局所的な評価に偏る可能性が高いことから、切羽ごとに実施されることは少ない。そこで筆者らは、迅速に多点で定量的な評価のできるトンネル切羽用打球探査装置を開発した。同装置は、土質分野で適用されている落球探査¹⁾の理論に基づいて開発されたもので、トンネル切羽用に単独かつ連続的に試験できる工夫がなされている²⁾。今回、押出しの強い泥岩地山を掘削中の北海道開発局 北の峰トンネル（仮称）を対象として適用性の評価を行ったのでその結果について報告する。

2. トンネル切羽用打球探査

トンネル用打球探査装置の特長は、まず切羽から2mの距離を確保して試験できること、次に連続的に加速度波形を取得できることの2点である（写真-1 参照）。2mの離隔を確保するために、岩質材料の判定に用いられる打球探査³⁾をロッドの先に装着しているが、連続的にデータを取得できるよう、鋼球が元の位置に戻るための復元バネをロッド内にセットしている（写真-2 参照）。また、ポータブルなデータロガーを背負うことで、単独（一人）での試験実施も可能としている。

表-1に切羽地山を対象に定量的な評価を実施した場合の試験方法を比較した結果を示す。先に述べたように、従来はズリから採取した試料に対してシュミットハンマー、針貫入試験あるいは点載荷試験を実施する方法であるが、試料の代表値しか取得できないことと実施数量が少ないこと、迅速性がないことが問題である。また、切羽面を対象にシュミットハンマーや針貫入試験を実施することも考えられるが、非常に危険であること、得られる値は相対的な指標にしか過ぎないことが問題である。これに対し、今回の方法は、離隔を確保し、多点のデータに基づいた代表的な弾性係数⁴⁾を取得できる。

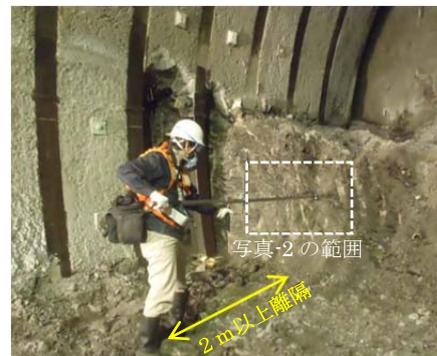


写真-1 トンネル切羽用打球探査



写真-2 切羽面での打撃状況

表-1 切羽地山の定量的評価の比較

	ズリから採取した試料 (シュミットハンマー, 針貫入試験, 点載荷試験)	切羽での試験 (シュミットハンマー, 針貫入試験)	本方式 (トンネル切羽用打球探査)
試験する位置	任意の場所で可能	切羽直近 (危険)	切羽から 2m以上離れた位置
得られるデータが 反映する範囲	塊状で得られた試料の代表値	試験した位置近傍の地山	試験した位置近傍の地山
可能な試験数	少ない	多い	多い
得られるデータ	シュミットハンマー: 反発度 点載荷試験: 点載荷強さ 針貫入試験: 針貫入勾配 ↓ 弾性係数, 一軸圧縮強さなど推定	シュミットハンマー: 反発度 針貫入試験: 針貫入勾配 ↓ 弾性係数, 一軸圧縮強さなど推定	弾性係数 ↓ 一軸圧縮強さなど推定

キーワード：山岳トンネル, 泥岩, 切羽観察, 打球探査, 弾性係数

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株) 技術研究所 TEL：042-485-1111

3. 現場適用試験（現場適用結果）

本装置を試験適用した北の峰トンネル（仮称）は新第三系の黒色泥岩を掘削対象とし、周囲には多くの断層が分布していた。その影響からか泥岩が掘進とともに想定以上に軟質かつ破碎性を帯びるようになってきた。写真-3に当初掘削していた泥岩と軟質化した泥岩の浸水崩壊状況の比較図を示す。軟質化した泥岩は色調も変化し、より細粒に浸水崩壊していることがわかる。掘削当初は卓越する亀裂およびその走向傾斜が明確であったため、通常の切羽観察が可能であったが、掘進するにつれて切羽面全体が細かく破碎された状況となり、目視観察だけでは評価の限界が生じてきた。そこで本装置を切羽の定量的評価方法の一つとして試験適用した。

図-1にトンネル切羽用打球探査を実施して得られた取得波形の一例を示す。この事例は、図-2の◎地点において切羽の左側で7回の打撃を実施して得られた結果である。同図中には各波形から得られた弾性係数とその平均値（0.08GPa）を示している。弾性係数の算定にあたっては、従来の手法^{2) 3)}に基づき、球の接触時間と加速度を積分した速度を用いている。図-1における加速度応答のバラツキを見ても、多点で計測することの意義がわかる。

図-2に軟質化した80mの泥岩区間に、トンネル切羽用打球探査を適用した結果を示す。同図には、孔内水平載荷試験から得られた変形係数（載荷過程）も併記しているが、得られたデータのやや低いレベルに分布している。また、地山分類⁵⁾についても弾性係数レベルごとに示している。同区間では内空変位や天端沈下の増大から支保パターンE（H-200、高強度吹付け250mm）を採用して掘削しているが、打球探査から得られた弾性係数からもそれが概ね妥当であったことがわかる。



写真-3 浸水崩壊状況（左：当初、右：軟質化）

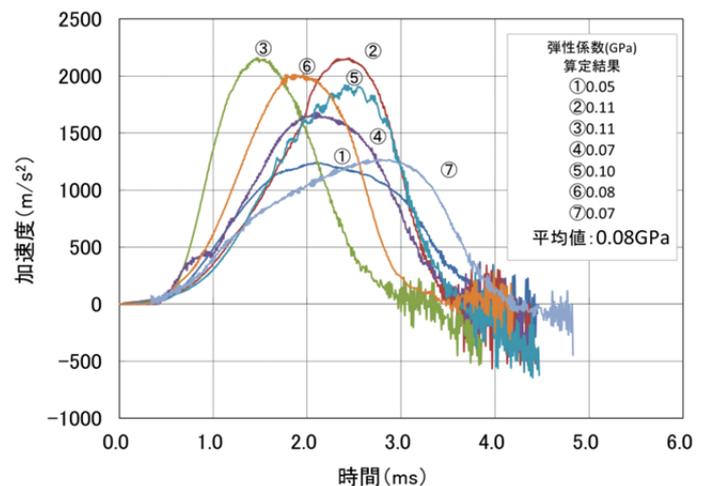


図-1 取得した加速度波形と弾性係数

4. おわりに

泥岩を掘削中の実トンネルに、トンネル切羽用打球探査を試験適用し、支保パターンEの区間で概ね地山等級Eという結果を得た。一方で地山等級DIIに分類される結果も存在した。これは、支保パターンを弾性係数のみでは決められないことも関係しているが、トンネル用打球探査から得られる弾性係数のひずみレベルや地山分類表に示されている変形係数⁵⁾との相関について検討を行う必要があることを示している。

参考文献

- 1) 北本ら：落球探査手法による砂礫盛土の締固め管理，第41回地盤工学研究発表会，pp.1147-1148，2007。
- 2) 小泉ら：打球探査による安全迅速なトンネル切羽の岩盤物性評価，鹿島技術研究所年報，60巻，pp.33-38，2012。
- 3) 白鷺ら：打球探査法による原石品質及び岩級の判定，平成25年度ダム工学会研究発表会，2013。
- 4) 池尻，吉田ら：打球探査法による岩質材料の変形特性の評価，土木学会第68回年次講演会，pp.677-678，2013。
- 5) 平成25年度 北海道開発局道路設計要領

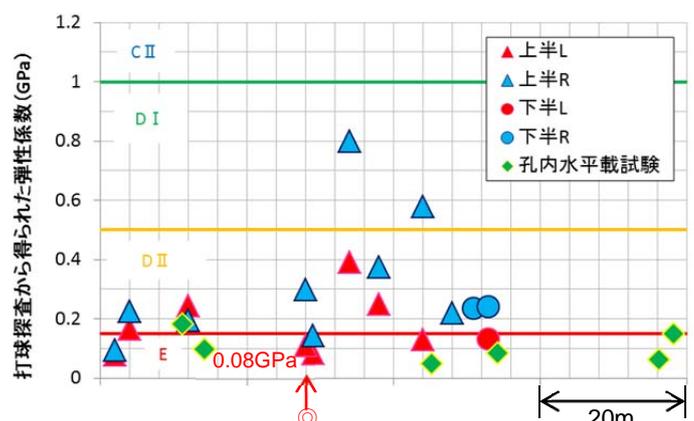


図-2 切羽全体が破碎した泥岩区間の適用実績