

コンピュータジャンボの削孔データを用いたトンネル切羽前方地山評価

大成建設（株）技術センター 正会員 ○市來 孝志, 山上 順民
大成建設（株）土木本部土木技術部 正会員 宮本 真吾
大成建設（株）九州支店 正会員 文村 賢一

1. はじめに

山岳トンネルの掘削工事において、切羽前方探査を用いて地山状況を精度よく把握することは、安全で合理的な施工のために不可欠である。この中でも、コンピュータジャンボ（以下、CP ジャンボ）の削孔データから 2 次的に得られるインデックスを用いた地山評価は、地山内部の岩盤状況に関する多数のデータを、掘削作業を妨げることなく得ることができるため、非常に有望である。しかし CP ジャンボでは効率的な削孔が最優先とされ、削孔時の打撃圧やフィード圧が自動で制御されるため、削孔条件がインデックスへ及ぼす影響や、インデックスと実際の物性情報との相関に関しては情報が不足していた。そこで、CP ジャンボのインデックスの 1 つである **Hardness** と一軸圧縮強さ既知のコンクリートとの相関性を削孔試験により把握し、この関係を用いて切羽前方地山を評価した事例について報告する。

2. 削孔機械の特徴

削孔機械は Epiroc 社製の XE3C を使用した。この機械では、次の 2 種類のデータが取得される。すなわち、ラウンドログと呼ばれる孔の位置・形状寸法データと、 MWD (Measurement While Drilling) ログと呼ばれる削孔時の機械データ (速度、フィード圧など) である。代表的なメーカーの CP ジャンボの一覧表を表-1 に示す。Hardness および Fracturing は MWD ログに基づいて計算されたインデックスである。Hardness は一軸圧縮強さ、Fracturing はボーリングコアの ROD (Rock Quality Designation) との高い相関を示すとされている^{1),2)}。

3. コンクリート削孔試験

3.1 試験概要

試験の主な目的は、適用サイトでの削孔データと一軸圧縮強さとの相関性を把握することである。既存地質資料の岩種・岩級の一軸圧縮強さの代表値を参考に、圧縮強さ 20～60N/mm² の間で4つのコンクリート供試体 (22.0N/mm², 36.6 N/mm², 48.1 N/mm², 57.7 N/mm²) を作成した (写真-1)。供試体の大きさは横 90cm×90cm、深さ 45cm とした。1つの供試体から孔間隔約 25cm 以上で5孔以上の削孔データを取得した。

表-1 代表的なメーカーとインデックス

メーカー	Epiroc	Sandvik	古河ロッドリル
専用ソフト	Underground Manager	i-SURE	Bever Team Roborock
インデックス	Hardness Fracturing	なし	削孔 エネルギー
特徴	独自の2つのインデックスが求まるが計算式など詳細が不明	独自のインデックスはなく機械データを表示可能	一般的な削孔エネルギーを表示可能

3.2 試験結果

削孔データから算出される Hardness と一軸圧縮強さとの関係を図-1 に示す. Hardness と一軸圧縮強さは線形の相関を示した. そこで, 既存地質資料を参考に岩種・岩級の取りうる一軸圧縮強さの幅から Hardness の閾値を求め, Hardness 分布から岩種・岩級を推測できるようにした. なお Hardness の高低は, 一軸圧縮強さの高低と逆である (Hardness の高い側が一軸圧縮強さの低い側である).

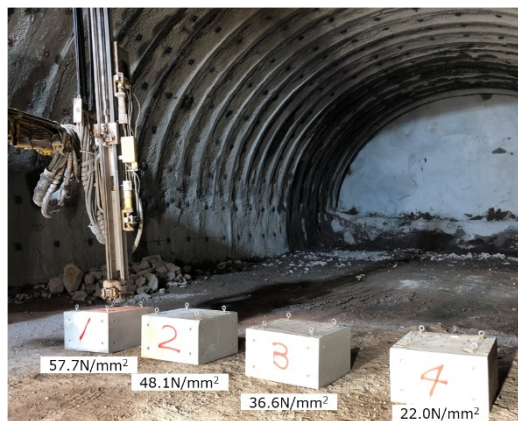


写真-1 コンクリート削孔試験の実施状況

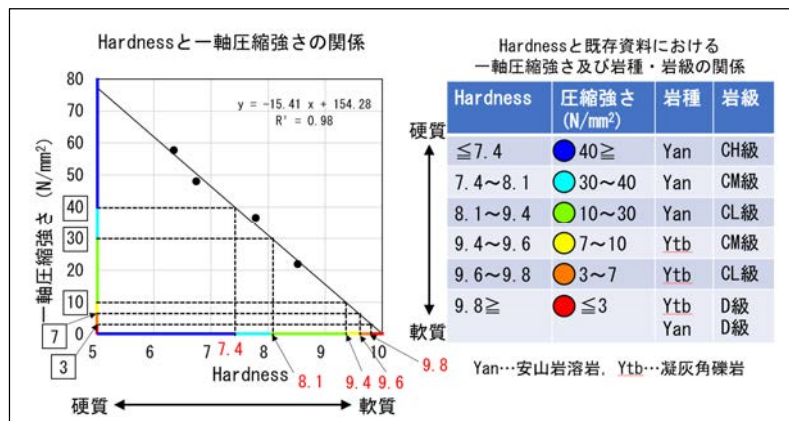


図-1 コンクリート削孔試験の結果

キーワード 山岳トンネル, コンピュータジャンボ, 切羽前方探査, 削孔データ, MWD, Hardness
連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 TEL 045-814-7221

4. 適用試験

4.1 試験概要

大分県中津市本耶馬溪町の跡田トンネル（東工区）で試験を実施した。地質は新第三紀凝灰角礫岩（Ytb）を主体とし、一部で安山岩溶岩（Yan）が分布する。今回は圧縮強さのコントラストが大きいことが想定された、安山岩溶岩と凝灰角礫岩の境界部の95m区間で実施した（図-2）。切羽の地質により、硬質な塊状の安山岩溶岩のみが分布する区間（No.129~152）、軟質で凝灰角礫岩と同等の圧縮強さの自破砕状安山岩溶岩が塊状部の上部に分布する区間（No.160~192）、軟質の自破砕状部のみが分布する区間（No.201~208）に区分できる。

4.2 試験結果と考察

試験実施区間では1.2m 間隔のCIIパターンで掘削が行われた。削孔データを取得した切羽はこのうち8断面である。各断面の削孔条件（フィード圧、打撃圧）のうち、フィード圧はコンクリート削孔試験と同じ30~50MPaの範囲に入っていた。しかし、打撃圧に関してはコンクリート試験では130MPaで一定であったが、適用試験では200MPaに増加しているものが認められた。そこで、削孔条件がコンクリート試験と同じ範囲内であった、No.129、No.172、No.208の各断面において切羽の地質状況とHardnessから想定される一軸圧縮強さとの比較を行った。塊状の安山岩溶岩が切羽全体に分布するNo.129断面においては、一軸圧縮強さ40N/mm²以上であった（図-3の青色部）。天端部に軟質な赤褐色の自破砕状安山岩溶岩が出現するNo.172断面においては、塊状部で一軸圧縮強さ40N/mm²以上、自破砕部で一軸圧縮強さ7N/mm²以下であった（図-4の赤色部）。切羽全体に自破砕状安山岩溶岩が分布するNo.208断面では、切羽全体が一軸圧縮強さ7N/mm²以下であった（図-5の赤色部）。以上のように、切羽の地質状況とHardnessから想定される一軸圧縮強さは調和的であった。

今回比較を行わなかった断面において、同じ岩質を削孔しても打撃圧が高い区間は削孔速度が速く、Hardnessが高く（軟質）評価されていた。このことから、打撃圧が高くなると削孔速度が上がり、見かけ上Hardnessが高く（軟質）なっていたことが推定される。HardnessをMWDログから算出する具体的な計算式は明らかにされていないが、Hardnessは削孔長による減衰効果を考慮して正規化した削孔速度と関係するとされており¹⁾、打撃圧を考慮せず削孔速度のみで一軸圧縮強さに相当する物理量を評価している可能性がある。

5. まとめ

Epiroc社のCPジャンボの削孔データから得られるHardnessは、特定の削孔条件を除けば一軸圧縮強さと線形相関しており、切羽での岩質状況とも整合することがわかった。しかし、打撃圧が変化した場合にはHardnessはこれを考慮できない可能性がある。したがって、誤評価を避けるためには、打撃圧を考慮できるように補正するか、このデータを除去する必要がある。今後は、CPジャンボの有効性を高めるために、この補正方法の検討と、もう1つのインデックスであるFracturingと物理量との関係を把握したい。

参考文献

- 1) Schunnesson, H. : Rock Characterization Using Percussive Drilling. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Vol. 35, No. 6, pp.711-725, 1998.
- 2) Schunnesson, H. : RQD predictions based on drill performance parameters. Tunneling and Underground Space Technology, Vol. 11, pp.345-351, 1996.

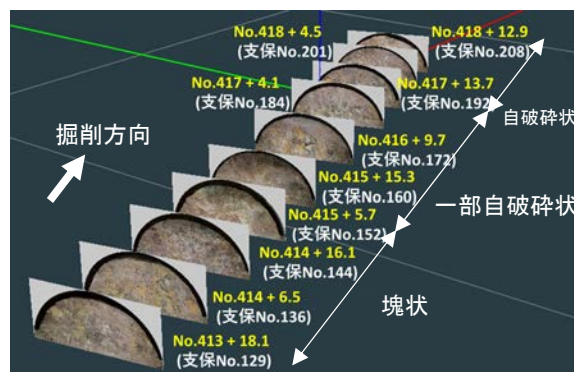


図-2 適用試験実施区間の切羽状況

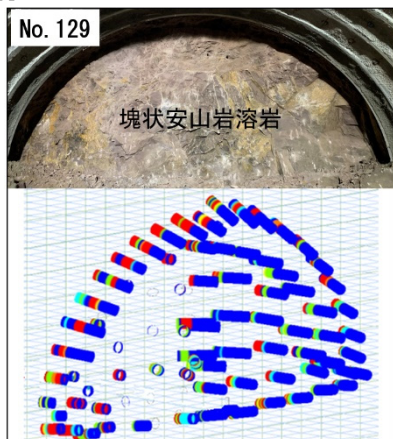


図-3 No. 129 断面（塊状安山岩溶岩）の切羽写真とHardness 分布

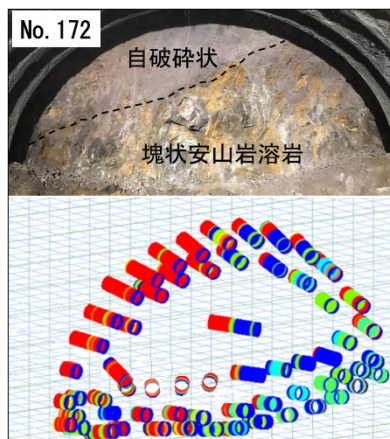


図-4 No. 172 断面（天端部に自破砕状安山岩溶岩）の切羽写真とHardness 分布

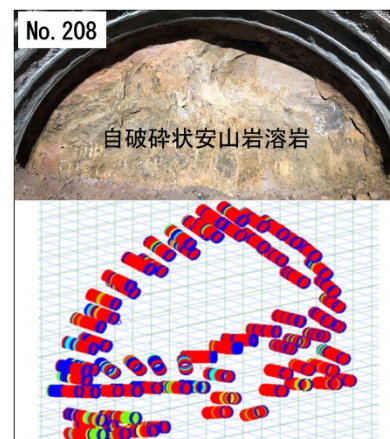


図-5 No. 208 断面（自破砕状安山岩溶岩）の切羽写真とHardness 分布