

コンピュータジャンボの削孔データから換算した強度物性による地山評価の試み

大成建設（株）技術センター 正会員 〇市来 孝志，山上 順民，坂井 一雄

1. はじめに

コンピュータジャンボ（以下，CP ジャンボとする）の普及により，削孔時の機械データやこれらから算出された掘削体積比エネルギーを使用して，切羽とその周辺地山を評価するシステムの開発が進められている¹⁾．これらの地山評価結果をビッグデータの入力データや火薬量算定のためのデータとして使用する際には，CP ジャンボメーカーの違いによる削孔制御方法や地山評価指標が異なることが問題となる（表-1）．理想としては，CP ジャンボメーカー毎に異なる制御方法をすべて考慮して，正確な掘削体積比エネルギーを求め，これを地山評価に用いることである．しかし，掘削体積比エネルギーは同一対象に対して削岩機により異なる値を示している可能性があるほか，算出に必要な定格値が示されていない場合もあり，CP ジャンボメーカー共通の評価指標とするには困難が伴う．そこで，筆者らはメーカーや削岩機の違いの影響を低減する方法として，強度の異なる均質なモルタルに対して削孔速度でキャリブレーションを行う予備試験を行い，削孔速度と圧縮強さの相関関係から，地山評価を試みる現場試験を実施した．

2. 検討フロー

削孔速度はのみ下がりとして以前から硬さの指標として用いられてきたほか，北欧ではシューネッソンらが Hardness と呼ばれる硬さの指標として用いられてきている²⁾．筆者らは削孔速度と圧縮強さの関係から地山評価を行う現場試験を図-1 の検討フローに従って実施した．まずメーカー毎に異なる CP ジャンボの制御特性の影響を調べ，データ抽出の際に考慮することとした．次に強度の異なる均質なモルタルを用いてキャリブレーションを行った．この際に調べた制御特性を追認した上でデータ抽出した．最後に実岩盤で検証を行った．対象切羽はできるだけ均質で近傍に試験データがある箇所を選定した．

3. 有効データの抽出

まず制御特性について説明し，次にデータ抽出の方法について説明する．図-2 にエピロック社の CP ジャンボ (XE3C) の制御特性として，ジャンボに搭載された削岩機 (COP2238+) の圧力変化図の 1 例を示す．この CP ジャンボは，基本的に回転圧が一定値に保持されるように制御され，このほか 3 つの制御がある．制御①のうちの 1 つは，空打ち防止のため，フィード圧の下降に応じて打撃圧を下げる制御である．制御②は，掘削ズリによる孔詰まり等の影響により，回転圧の上昇時にフィード圧を下げる制御である．制御③は，粘土箇所や軟弱帯を削孔した場合に，回転圧が制御②の閾値を超え上昇した際に，ドリフターを後退させるアンチジャミング制御である．

通常，削孔は本削孔前から本削孔の段階へと移行する（図-2）．本削孔前は本削孔の段階よりも低いフィー

表-1 代表 3 社の CPJ メーカーと削孔指標

メーカー	エピロック社	サンドビック社	古河ロッドドリル社
地山評価指標	・ Hardness ・ Fracturing	なし	削孔エネルギー (掘削体積比エネルギー)

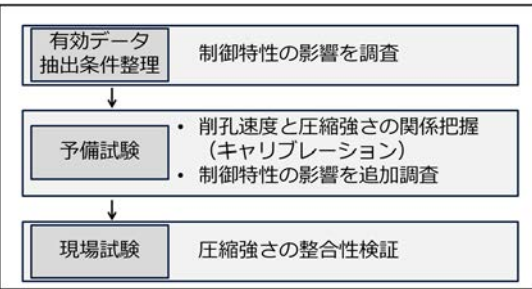


図-1 検討フロー

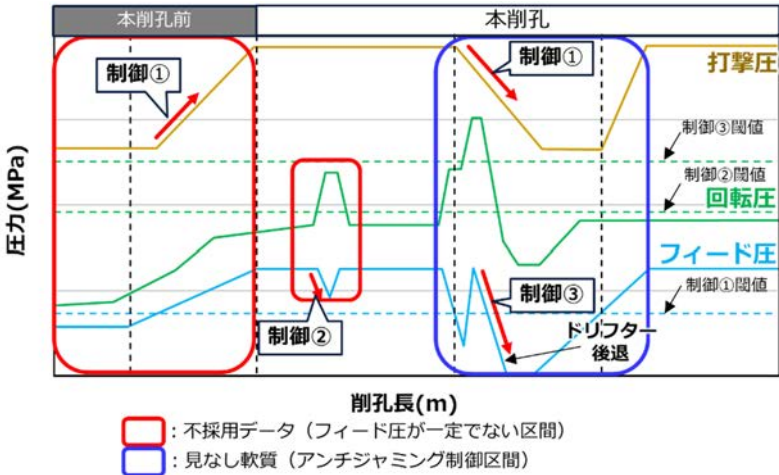


図-2 圧力変化図の 1 例（エピロック社 XE3C）に加筆・修正

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

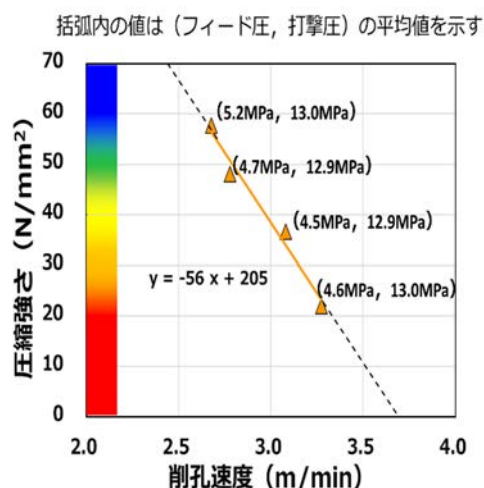


図-3 予備試験結果（エピロック社の CP ジャンボ XE3C で実施）

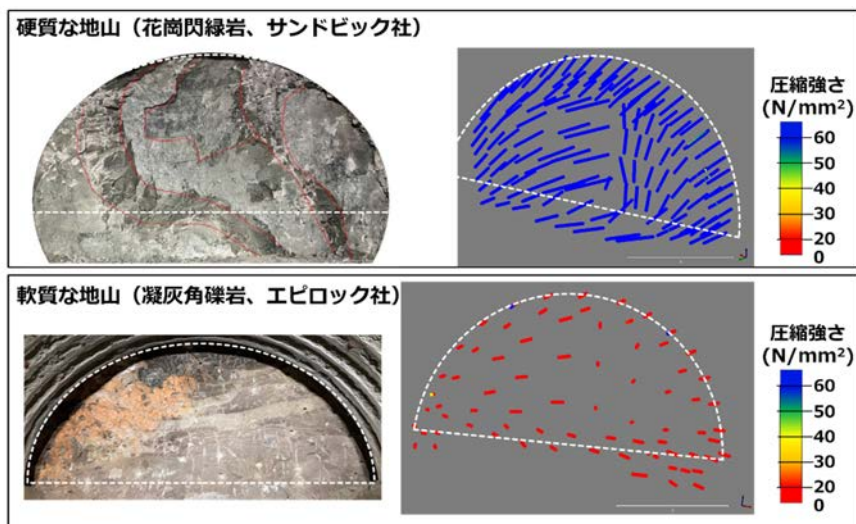


図-4 現場試験結果
(上段:硬質地山の事例, 下段:軟質地山の事例)

ド圧や打撃圧で制御され、削孔データにばらつきが生じる。そのため、本削孔前の段階では、本削孔の段階における地山性状を反映したデータは得られないものと考えられ、データから除外する必要がある³⁾。また、制御②区間についても、制御特性を反映しており、地山性状を反映したデータは得られないものと考えられる。図-2 中赤枠にて不採用データを示す。一方で、これ以外の区間をデータ抽出の対象として採用した。また、図-2 中青枠で示す、制御③区間については、軟弱帯などの不良地山が想定されるため、見なし軟質区間としてデータ抽出の対象として採用した。

4. 予備試験

強度の異なる均質なモルタルに対して削孔速度でキャリブレーションを行う目的で予備試験を実施した。試験体は、寸法が 45cm（幅）×45cm（奥行）×90cm（高さ）で、圧縮強さが 20～60N/mm² の 4 つのモルタル供試体である。各試験体について、8～9 孔程度の削孔データを取得した。削孔速度と圧縮強さの関係を図-3 に示す。削孔速度と圧縮強さは良い相関を示し、この時のフィード圧は一定の範囲内の値(4.5-5.2MPa)を示した。試験の範囲内で得られた関係式を、範囲外でも成り立つと仮定して拡張して適用し、岩盤強度を推定した。

5. 現場試験

図-4 上段および下段に硬質および軟質地山の評価事例を示す。図-4 中の凡例の閾値設定は、換算精度が高いと考えられるため予備試験の圧縮強さ範囲内とした。硬質な地山の事例では、既存の地質調査での一軸圧縮強さ試験結果より CM 級～CL 級の花崗閃緑岩で 50～150N/mm² の圧縮強さが想定された。切羽には CL 級以上の花崗閃緑岩が分布し、岩盤強度は概ね青色の 60N/mm² 以上と評価され整合的であった。一方で、軟質な地山の事例では、切羽前方探索コアボーリングの圧縮強さ試験とコアの針貫入試験により、圧縮強さが 5～20N/mm² の凝灰角礫岩が切羽に分布すると想定された。岩盤強度は概ね赤色の 20N/mm² 程度以下であると評価され整合的であった。この結果、削孔速度から換算した圧縮強さから推定した岩盤強度により、地山の硬軟を評価可能と考えられた。

6. まとめ

メーカーや削岩機の違いに影響しない直接的な地山評価法として、削孔速度と圧縮強さの相関関係を利用した方法を適用した。強度物性が近傍で測定されている比較的均質な切羽で検証した結果、硬質地山と軟質地山の両方で妥当性を確認できた。今後は様々な岩種・岩質の切羽で適用し、妥当性を検証する。また必要であればキャリブレーション試験も追加し、精度向上を目指していきたい。

参考文献

- 1) 山下ほか: トンネル掘削時の削孔データを使用した 3 次元地山評価システムの開発, トンネル工学報告集, 第 28 巻, I-32, 2018.
- 2) Schunnesson, H.: Rock Characterization Using Percussive Drilling. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Vol. 35, No. 6, pp.711-725, 1998.
- 3) Van Eldert et al.: Improved filtering and normalizing of Measurement-While-Drilling (MWD) data in tunnel excavation, Tunnelling and Underground Space Technology, 103, pp1-13, 2020.