

トンネル工事における IT 等を活用した 施工事例について

朝長 佑世¹・鶴田 健太郎¹・伊東 良二¹

¹九州地方整備局 大分河川国道事務所 工務第二課 (〒870-0820 大分県大分市西大道 1-1-71)

大分 212 号跡田トンネル（東工区）新設工事では、IT 技術を様々活用して山岳トンネル工事の施工を進めている。本稿は当工事で活用している IT 技術のうち、コンピュータジャンボの削孔データを用いて地山の硬軟を定量的に評価する事例を報告するものである。従来、肌落ちの原因となり得る小規模な弱層を捉えることは困難であったが、トンネル掘削面である切羽毎に大量に得られる削孔データを活用することで、弱層を面的に捉えるとともに、圧縮強さの分布から地山の硬軟を定量的に評価することができた。

Key Words: 山岳トンネル, 切羽, 地山評価, IT等技術の活用, 削孔データ

1. はじめに

山岳トンネル工事では、発破あるいは機械によって掘削を進めることが多いが、近年、省力化や生産性の向上、あるいは安全性向上を目的とした i-Construction 技術の活用が求められている。

大分 212 号跡田トンネル（東工区）新設工事では、IT 技術等を活用した様々な取り組みを行っており、本稿はコンピュータジャンボの削孔データを用いた地山の硬軟の定量的評価事例について説明する。

2. 工事概要

本工事は、大分県中津市本耶馬溪町跡田地先を起点側坑口とした道路トンネル工事である。トンネル施工延長は約 1.1km であり（東工区延長）、発破および機械掘削工法を用いて施工している。図-1 にトンネル工事箇所的位置を示す。



図-1 トンネル工事箇所的位置図

3. 様々な IT 技術の取り組み

本工事では、図-2 に示す様々な IT 技術を用いて工事を進めている。吹付コンクリート作業においては、ヘッドマウントディスプレイを活用している。吹付ロボット操作者が切羽から離れた位置での遠隔作業が可能となり、肌落ち災害防止および吹付コンクリートの粉塵吸引リスクを低減している。また、各作業員のヘルメットに IC タグを装着することで、稼働中の重機が近接した際に重機オペレーターと重機に接近する作業員の両方にアラートを発し、重機関連災害リスクを低減させた。さらに、デジタルカメラと画像解析技術を利用して切羽からの落石を監視する装置を用いて、安全監視の効率化を行っている。コンピュータ搭載型ドリルジャンボ（以下、CP ジャンボ）を用いて削孔の自動化を行うとともに、削孔データを用いた地山の硬軟の定量的な評価に取り組んでいる。本稿では、図-2 赤枠で示す CP ジャンボを用いた事例について取り上げる。



図-2 様々な IT 技術の取り組み

4. CPジャンボ導入の背景と特徴

働き方改革の観点から求められる生産性の向上と、少子高齢化による熟練作業員の減少を背景に CP ジャンボは導入された。従来のドリルジャンボでは、熟練工の経験や勘に基づき削孔されることが多かった。今後は熟練工不足を補うべく IT 技術の活用が求められている。CP ジャンボでは、複雑な機械操作をコンピュータ制御することで、一定の削孔精度を熟練工でなくとも確保することが可能である。また、1つ前の切羽で得られた削孔データに基づき地山の硬軟を定量的に評価することが可能となり、削孔の最適化が可能となった。

本稿で取り上げる CP ジャンボを図-3 に示す。この機械では、削孔時に位置座標データと機械データの2種類のデータが得られる。前者は、孔の位置や形状寸法データであり、後者は削孔速度やフィード圧などの機械データである。今回使用する CP ジャンボでは、機械データに基づいて地山評価のための2つの指標を算出している、岩盤の硬さと割れ目の多さである。岩盤の硬さは圧縮強さと高い相関を示すとされており、岩盤の割れ目の多さは、RQD（ボーリングコアの割れ目間隔に着目した岩盤の良好度の指標）と高い相関を示すとされている。

次章より、CP ジャンボで得られる削孔データを用いて地山の硬軟を定量的に評価した事例について述べる。なお、地山の定量的評価のためには、機械データから算定される岩盤の硬さと一軸圧縮強さの相関を確認する必要がある。そこで、現場適用試験に先立ち、予備試験（コンクリート削孔試験）を実施した。

5. コンクリート削孔試験

5.1 試験概要

試験の目的は、機械データと一軸圧縮強さの相関を把握することである。

試験手順を以下に示す。

- ① 一軸圧縮強さが既知のコンクリートブロックを製作
- ② コンクリートブロックを CP ジャンボで削孔
- ③ 一軸圧縮強さと機械データの相関性を分析



図-3 CPジャンボ

コンクリートブロックは、図-4 に示す既存地質資料の岩種・岩級の圧縮強さの代表値を参考に、圧縮強さが20~60N/mm²の写真-1 に示す4つのコンクリート供試体（57.7N/mm², 48.1N/mm², 36.6N/mm², 22.0N/mm²）を製作した。供試体寸法は90cm×90cm×45cmである。機械データから算定される岩盤の硬さの平均値を求め、その供試体の代表値とし、圧縮強さとの相関を求めた。

5.2 試験結果

図-5 に機械データから算定される岩盤の硬さと一軸圧縮強さの関係を示す。岩盤の硬さと圧縮強さは線形の相関を示すことが確認された。

岩種	岩級	圧縮強さ (N/mm ²)	安山岩溶岩(Yan) CH級 圧縮強さ: ≥40 N/mm ²	
Yan	CH級	● 40≥		
Yan	CM級	● 30~40		
Yan	CL級	● 10~30	凝灰角礫岩(Ytb) CM級 圧縮強さ: 7~10 N/mm ²	
Ytb	CM級	● 7~10		
Ytb	CL級	● 3~7		
Ytb	D級	● ≤3	凝灰角礫岩(Ytb) D級 圧縮強さ: ≤3 N/mm ²	
Yan	D級	● ≤3		

Yan…安山岩溶岩
Ytb…凝灰角礫岩

硬質土
扱い
軟岩
扱い

図-4 岩種・岩級と一軸圧縮強さの関係



写真-1 コンクリート削孔試験状況

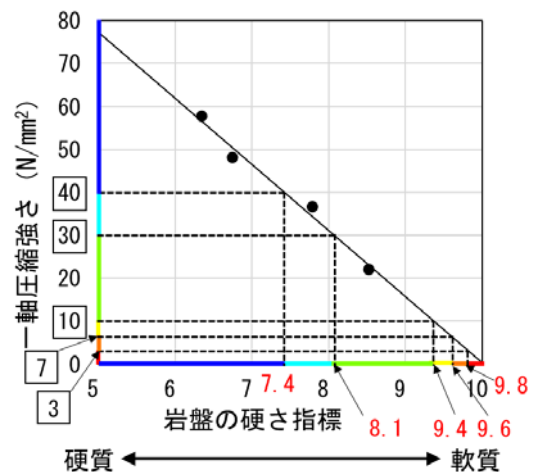


図-5 岩盤の硬さ指標と一軸圧縮強さの関係

6. 現場適用試験

6.1 試験概要

本工事で掘削する地質は、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。図-6 は当初設計時の地質縦断面図である。図中左から右に向かってトンネルを掘削する。当初は茶色の塊状の安山岩溶岩と黄色の凝灰角礫岩の分布に加え、弾性波探査から推定される低速度帯に多亀裂部が想定されていた。

掘削時に実施した切羽観察の結果、図-7 の地質縦断面図と写真-2 の切羽写真に示すように、安山岩溶岩と凝灰角礫岩との境界部に弱層となる自破碎状の安山岩溶岩が存在することがわかった。このような不均質な地質構造を持つ地山において、目視で弱層の硬さを評価することは一般的に難しい。

また、従来の地質評価のために実施される点載荷試験や水平ボーリング (図-8) には様々な課題がある。

点載荷試験については、礫が採取されない軟質部では試験が実施できないため、礫が採取される比較的硬質部だけの試験データとなる。そのため試験結果から推定される地山は、実際の地山よりも見かけ上硬い地山と評価されるリスクがある。

水平ボーリングでは、ボーリングコアなどから得られる情報は局所的なものとならざるを得ず、必ずしも切羽

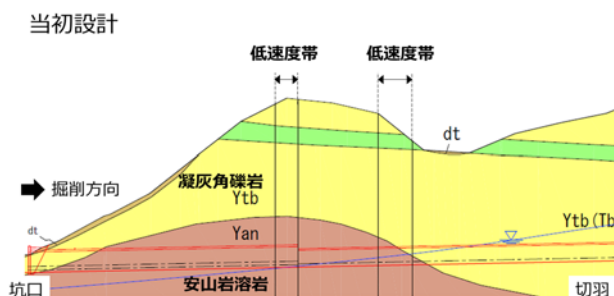


図-6 当初設計の地質縦断面図 (一部加筆)

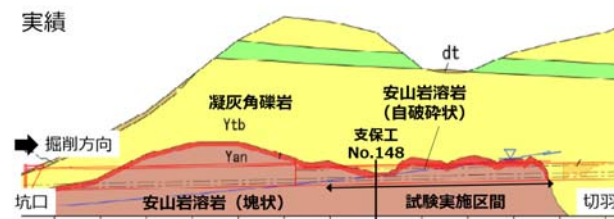


図-7 切羽観察結果を反映した地質縦断面図



写真-2 安山岩溶岩と凝灰角礫岩の分布状況

の地質を代表していない場合がある。加えて、切羽に部分的に分布する弱層を把握することは難しい。

しかし、CP ジャンボで得られる削孔データは、切羽における地山情報が網羅的かつ面的に得られるため、部分的に存在する弱層についても把握できる可能性が飛躍的に向上すると想定された。

そこで、CP ジャンボの削孔データを用いて地山の硬軟を評価する現場適用試験を実施した。試験区間は、圧縮強さのコントラストが大きいと想定された安山岩溶岩と凝灰角礫岩の境界部の95m区間とした (図-9)。

6.2 試験結果

図-9 に試験区間の代表的な切羽写真を示す。切羽の地質により、適用区間を3つに分類できた。それぞれ、硬質な塊状の安山岩溶岩のみが分布する区間、軟質で凝灰角礫岩と同等の圧縮強さの自破碎状安山岩溶岩が塊状部の上部に分布する区間、軟質の自破碎状安山岩溶岩のみが分布する区間である。支保パターンは全区間で1.2m間隔のCIIパターンである。削孔データを取得した切羽はこのうち7断面であり、切羽の地質状況と岩盤の硬さによる評価を比較した。

【点載荷試験】

試験に用いる試料



試験装置と実施状況



【水平ボーリング】

ボーリング実施箇所



ボーリング実施状況



図-8 地質評価のための試験 (上：点載荷試験，下：水平ボーリング)

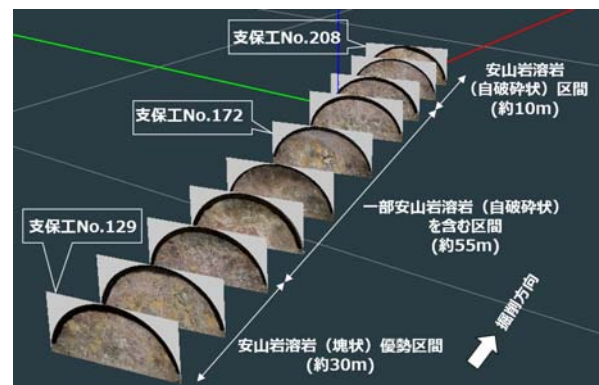


図-9 現場適用試験実施区間

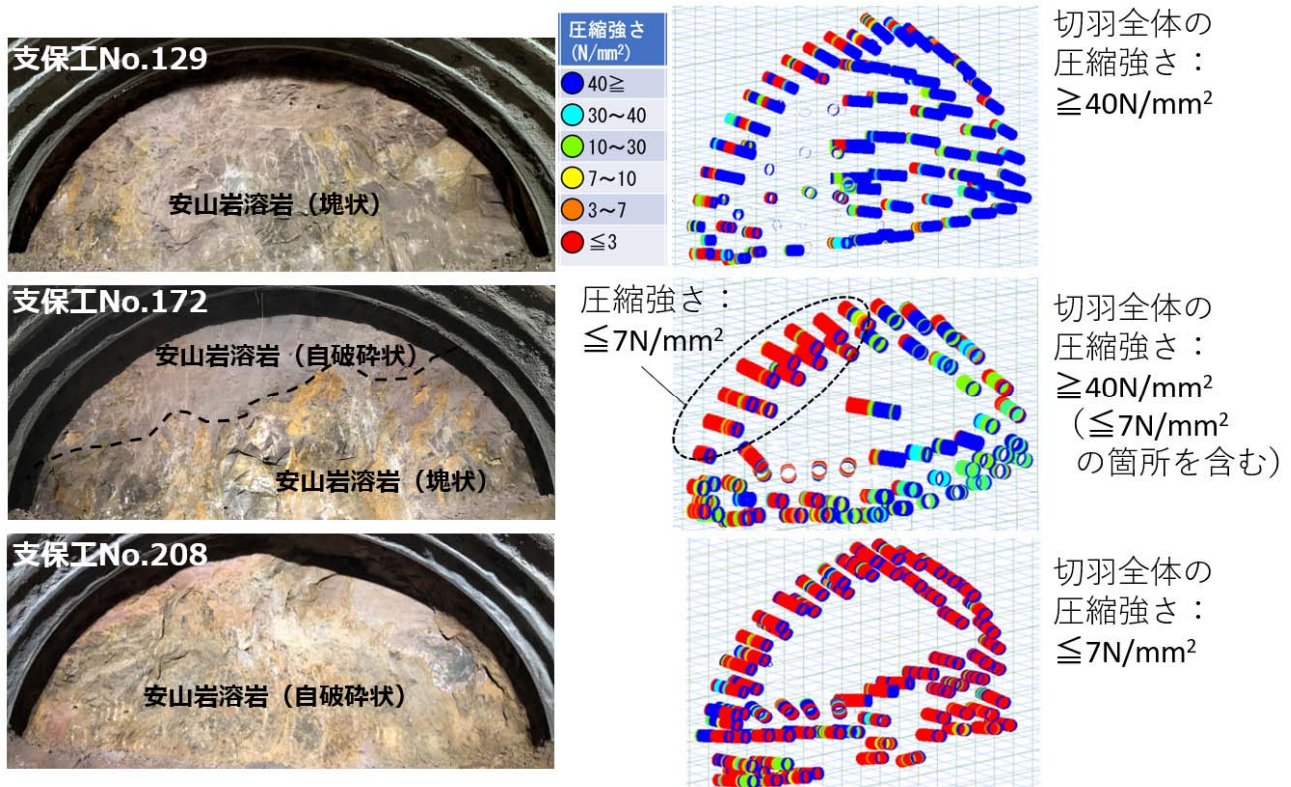


図-10 切羽状況と岩盤の硬さの分布図の関係

支保工 No.129, No.172, No.208 の3断面において切羽の地質状況と岩盤の硬さから想定される一軸圧縮強さとの比較を行った。図-10には切羽写真と岩盤の硬さの分布図の関係を示す。図中左側に切羽写真、右側に岩盤の硬さの分布図を示す。岩盤の硬さは青色ほど硬く、赤色ほど柔らかいことを示す。青色の硬さはトンネルで用いられる吹き付けコンクリートの2倍程度の硬さを示す。

以下に各断面における切羽状況と岩盤の硬さから想定される評価について述べる。

- 支保工 No.129断面においては、塊状の安山岩溶岩が切羽全体に分布する。切羽全体に青色が多く、硬い地山であることがわかる
- 支保工 No.172断面においては、天端部に弱層となる自破碎状安山岩溶岩が出現している。自破碎部ではオレンジ色から赤色が多く軟質であり、塊状部では青色が多く硬質であることがわかる
- 支保工 No.208断面においては、切羽全体に弱層となる自破碎状安山岩溶岩が分布しており、切羽全体に赤色が多く、軟質な地山であることがわかる

以上のように、切羽の地質状況と岩盤の硬さから想定される一軸圧縮強さは調和的であることがわかった。本工事のように不均質な地質であっても、削孔データを用

いることで、境界の弱層を見落とすことなく、地山の硬軟を定量的かつ面的に評価できることが確認できた。

7. まとめと展望

跡田トンネル（東工区）新設工事では IT 等に関わる様々な技術に取り組んでいる。本稿では、CP ジャンボを用いた地山の硬軟の定量的評価事例について紹介した。

本工事では、安山岩溶岩と凝灰角礫岩の境界部の弱層が不均質に分布するため削孔データを用いた切羽の硬軟の定量的評価技術を適用した。その結果、境界部の弱層の分布について、面的に把握でき、またその硬さについても定量的に把握することができた。

今後も CP ジャンボの削孔データを継続して蓄積していくとともに、データを積極的に活用してトンネル切羽前方の地山評価を行い、弱層となる地質を見落とすことなく、切羽の定量評価を行っていく。

参考文献

- 1) パシフィックコンサルタンツ株式会社:大分212号三光本耶馬溪道路跡田トンネル地質調査業務報告書, 2009.