

山岳トンネルにおける ICT 搭載型ドリルジャンボによる完全自動削孔とその効果

大成建設(株)九州支店 正会員 ○松田 一輝, 文村 賢一, 浅井 伸弘

大成建設(株)土木本部土木技術部 宮本 真吾

成豊建設(株) 渡邊 慶一郎

虎乃門建設機械(株) 石川 輝

1. はじめに

本稿は、大分 212 号跡田トンネル（東工区）新設工事において、ICT 搭載型ドリルジャンボ（Epiroc 社製 XE-3C, 以後コンピュータジャンボ）を用いて鋼製支保工のある支保パターンで全孔自動削孔することが可能となったこと、すなわちオート削孔率（自動削孔数/全孔×100）が 100%となった事例を紹介するとともに、その効果を取りまとめたものである。

2. 山岳トンネル工事における削孔作業の現状と課題

はじめに、発破掘削作業における削孔作業について現状と課題を整理する。

削孔作業とは、切羽に火薬を装薬するための孔を、ドリルジャンボ等の機械を用いて削孔する作業であり、発破掘削作業の生産性を決める主要因である。そして、その成否は「削孔パターン」と「削孔精度」によって決定される。前者は「切羽のどの位置に、どの程度の深さ・角度で削孔するか」という施工計画であり、後者は、「決められた削孔パターンに従い正確に削孔できるか」という施工精度である。

従来、「削孔精度」はドリルジャンボを操作するトンネル作業員の経験に頼っている。しかし、昨今の熟練工減少を鑑みれば、ICT 技術を活用した自動削孔によって、削孔精度の向上を図るとともに、個人の技量に依らず削孔精度の均質化を図ることが喫緊の課題である。因みに、これまでもコンピュータジャンボを用いた自動削孔は試みてこられたが、鋼製支保工のある支保パターンでは、ドリルジャンボのガイドシェルが鋼製支保工と干渉し、「払い孔」および「隅踏前孔」を自動削孔することが出来ず、トンネル作業員による手動操作による削孔作業を余儀なくされていた。この現状を打破し、トンネル掘削の省力化と生産性向上を図るためには、削孔作業の完全自動化、すなわちオート率を 100%とすることが求められている。

3. ICT 技術を用いた自動削孔

これまで、「払い孔」は鋼製支保工とガイドシェルが干渉するために自動削孔できなかった。その原因は、払い部分の削孔位置・削孔角度にあると考えられる。一般的には、削孔開始位置（孔口）は掘削設計ラインから 100mm 程度内空側に設け、削孔先端（孔尻）を 100mm 程度地山側に設けることが望ましいとされている。但し、鋼製支保工のある支保パターンの場合には、鋼製支保工内面が設計掘削ラインよりも 150mm～200mm（鋼製支保工の規格による）内空側となるため、ガイドシェル先端を吹付コンクリートに沿わせ、可能な限り地山側に孔口を設けて削孔することが多い。これは、発破後に掘削断面内空側に残った岩盤（アタリ）をブレイカーで叩き落とす作業（アタリ取り）時間を極力短くするためである。一方、孔尻は掘削設計ラインよりやや地山側とすることが多い。これは、余堀りを極力抑えつつ、アタリを少なくするためである。トンネル作業員は、手動でドリルジャンボブー

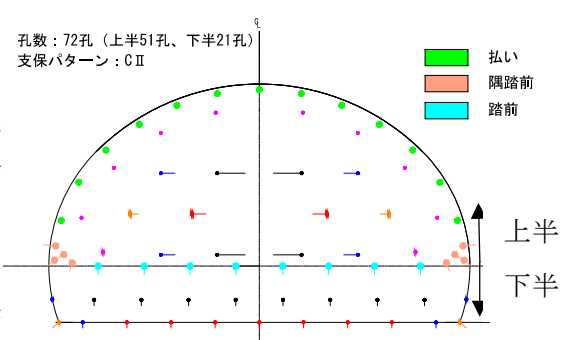


図-1 掘削断面・削孔パターン

ターが、発破後に掘削断面内空側に残った岩盤（アタリ）をブレイカーで叩き落とす作業（アタリ取り）時間を極力短くするためである。一方、孔尻は掘削設計ラインよりやや地山側とすることが多い。これは、余堀りを極力抑えつつ、アタリを少なくするためである。トンネル作業員は、手動でドリルジャンボブー

キーワード：自動削孔, ICT 搭載型ドリルジャンボ

連絡先：〒871-0311 大分県中津市本耶馬溪町跡田字北代 233-1 大成・森本特定建設工事共同企業体

ムを複雑に操作してガイドシェルを鋼製支保工内空側に誘導し、鋼製支保工に限りなく近い位置から削孔している。しかし、自動削孔においてそのような複雑なブームの動きを指示することは極めて困難であるため、鋼製支保工との接触を回避するためには孔口を内空側に控えざるを得ず、「アタリ」の発生が想定されたため、これまでは結果的に「払い孔」部分の削孔は手動削孔に頼っていた。

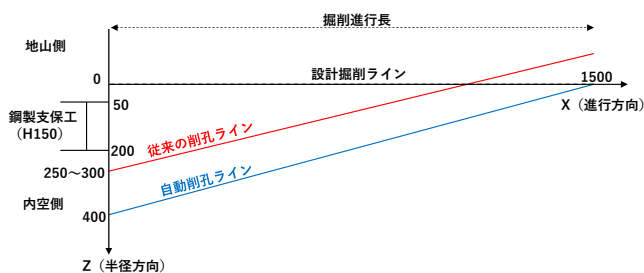


図-2 自動削孔における払い部分の削孔ライン

ここで、改めて最適な削孔ラインについて考える。

図-2 は鋼製支保工近傍のトンネル縦断面図である。鋼製支保工は H150 とした。赤線は従来の削孔ラインである。孔口位置を変えずに孔尻を地山側に移動すれば、余堀は増えるがアタリは減少し、逆に孔尻を内空側に移動すれば、余堀は減少するが、アタリは増加する。孔尻位置を変えずに孔口位置を内空側あるいは地山側に移動させても同様である。つまり、最適な削孔ラインの選定とは、地山条件に応じて余堀とアタリの配分を決めることに他ならない。例えば、削孔ライン選定において削孔から吹付完了までの1工程あたりの作業時間（サイクルタイム）を選定指標とすると、硬い地山の場合は、サイクルタイム増加要因であるブレーカーでのアタリ取り作業時間が短くなるような削孔ラインを選定し、柔らかい地山の場合には、吹付作業時間が短くなるような削孔ラインを選定することが合理的である。但し、最適削孔ラインの選定指標については、施工条件によって余掘り量や施工単価あるいは安全性・地山の安定性などを選択することも考えられることから、最適削孔ラインは必ずしも1つではない。

本工事では、地山は主として溶結凝灰角礫岩で構成されており、一軸圧縮強度は 10～20MPa 程度の軟岩～中硬岩である。サイクルタイムに占める比率は、アタリ取り作業よりも吹付作業によるところが大きい。そこで、最適削孔ラインの選定にあたっては、サイクルタイムを指標とし、余掘りを小さくすることを目的として、孔口を鋼製支保工内面から 200mm 内空側、孔尻は掘削設計ライン上と設定した（図-2 青線）。孔口を内空側に控えることで、削孔時のガイドシェルと鋼製支保工の干渉を抑止して自動削孔を可能にした。

日々地山条件は変化するものの、装薬量や孔間隔を微調整することで、「払い」の他「隅踏前」「踏前」を自動削孔することが可能となり、装薬する全ての孔を自動削孔するオート率 100%を達成した。削孔パターンは当初準備したものを、地山条件に応じて微修正を加えながら使用している。なお、自動削孔した場合でも、アタリ取り・ずり出しに要する作業時間は、手動削孔した場合と同等である。

4. 完全自動削孔の効果

発破作業において、完全自動削孔が可能となったことによる効果についてまとめる。

- ① トンネル作業員の技量によらず、削孔精度が向上かつ均質化したことで全体サイクルタイムが安定した。
- ② 複雑なブーム移動が必要ないため削孔時間が短くなった。
- ③ 削孔作業に要する人員が減少した。ドリルジャンボブーム本数に関わらず1名で削孔作業が可能である。
- ④ 削孔作業中に切羽作業員が次の作業の段取り（鋼製支保工建込、ロックボルト等）を行えるようになった。
- ⑤ トンネル作業員でなくとも削孔作業が行えるようになった。これにより、掘削班編成の自由度が増したことに加え、一律に朝礼を始める必要がなくなり作業時間設定の自由度が高まった。

5. 今後の展開と課題

削孔作業を完全自動化出来たことで、発破掘削作業における「削孔精度」については生産性向上に繋がる技術運用が行えたと考える。今後、コンピュータジャンボによって収集される削孔データと発破結果の相関データを蓄積するとともに、AI 技術を導入すれば、地山条件に応じた最適な削孔パターンを決定する技術改良も可能であると考えられる。