

ロックボルト専用機「ボルティンガー」の採用による安全性及び生産性の向上

大成建設(株) 正会員 ○金井 俊二 , 正会員 大西 吉実
大成建設(株) 正会員 川元 健太郎, 正会員 宮本 真吾

1. はじめに

NATM は、鋼製支保工と吹付コンクリートを施した地山に、ロックボルト（異形棒鋼：3～6m/本）を打設することで、トンネルのアーチアクションを期待する。これらの一連の作業は、垂直に切り立った地山（切羽）のすぐ傍で行われ、中でもロックボルト工は機械で削孔した孔にマンケージバスケットに乗った作業員が高所で重量物となるロックボルトを人力挿入するという最も過酷かつ危険な作業である。

本稿ではロックボルト工において、安全性及び生産性向上を実現すべく開発した6m継ぎロックボルト装置の開発過程と、当該装置を搭載したロックボルト専用機「ボルティンガー」を現場に導入した実証結果について述べる。

2. 開発背景

(1) 従来のロックボルト工

従来のロックボルト工では、機械で削孔した孔にマンケージバスケットに乗った作業員がモルタルを充填した後、ロックボルト（当工事では最長6m/本（約20kg））を人力にて挿入する。この作業は、狭隘なマンケージバスケット上での高所作業であり、長尺かつ重量物のロックボルトを人力にて挿入する作業はかなりの重労働となる（図-1）。また、この作業は切羽直近での人力作業であり、切羽が崩落した場合は崩落土砂に巻き込まれ、重篤な災害となるリスクを有する。

(2) 既存打設装置の問題点

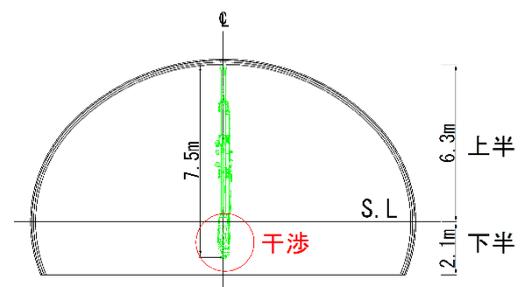
a) 打設装置が補助ベンチに干渉する

ロックボルト作業を人力によらず施工する機械は、海外を中心に普及が進んでおり、一部の機械は国内でも稼働している。これらの既存打設装置は、打設するロックボルトの全長に合わせて機械設計されており、一般的に、打設するロックボルト長さに約1.5m程度の長さを加えた全長となっている。これはロックボルトを挿入する際の削岩機長であり、6mのロックボルトを1本物で打設する際には7.5m（ロックボルト長：6.0m+削岩機長：1.5m）程度の打設装置全長となる。一般的に6mのロックボルトが設計で計画されているトンネルは地質条件が悪い場合が多く、計画断面を一度に掘削するような全断面掘削工法ではなく、掘削断面を分割して施工する上半先進ベンチカット工法等の採用が一般的であり、必然的に掘削断面が小さくなることから、打設装置の全長が断面内に収まらなくなり、打設装置を用いてのロックボルト施工ができなくなることが問題であった（図-2）。



図-1 人力によるロックボルト施工状況

【トンネル断面図】



【トンネル縦断面図】

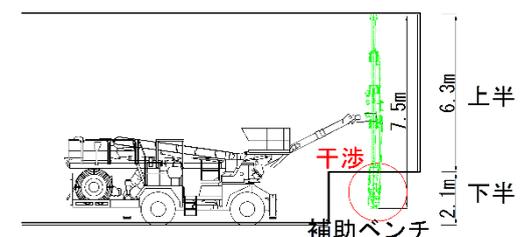


図-2 既存打設装置でのベンチ干渉

キーワード 山岳トンネル, ロックボルト工, 機械化, 安全性向上, 生産性向上

連絡先 〒869-2801 熊本県阿蘇市波野大字小地野 1143-2 大成・杉本 JV 滝室坂トンネル東工事作業所 TEL0967-24-0211

b) 施工時間の長期化（生産性悪化）

既存打設装置はロックボルトの施工サイクルである削孔、モルタル充填、ロックボルト打設の一連の作業を行うものであり、削孔用の削岩機、モルタル充填用ホース、並びに打設するロックボルトを保持しておくマガジンと挿入用の削岩機が一体となった機構である。この機構を全て備えた装置は、総重量が重くなるため、1台の機械本体に対して1台の装置の組み合わせとなるのが一般的である（図-3）。



図-3 既存打設装置例(ロポルト)

従来のロックボルト工に使用されるドリルジャンボ（図-4）は、1台の機械に対し2～3本の削孔用削岩機が組み込まれているため、2～3孔同時削孔が可能であるのに対し、1台の装置で施工を行うことになる既存打設装置は、1本目の打設が完了しないと次の孔に移動することができず、総じて施工時間が長くなる（生産性が悪化する）ことが問題であった（図-5）。

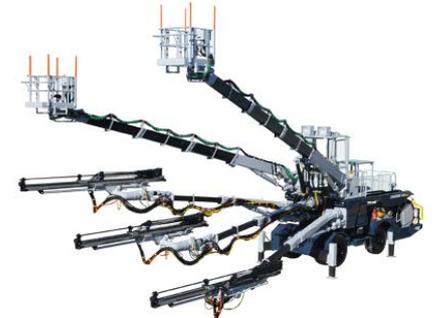
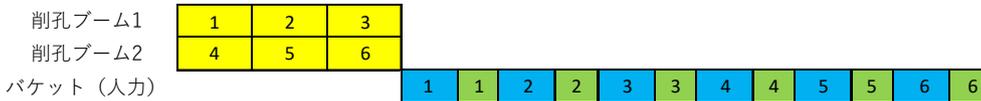


図-4 ドリルジャンボ例

■従来の機械（ドリルジャンボ）



■一体型機械（既存打設装置）



※6本のロックボルトを打設する際のサイクル比較。

横軸は経過時間を、1～6の数値はロックボルトナンバーを表す。

■削孔 ■モルタル充填 ■ロックボルト打設



施工時間の長期化（生産性悪化）

図-5 6mのロックボルトを6本打設する際のドリルジャンボと既存打設装置の作業サイクル比較

3. 打設装置の開発

(1) 打設装置全長の短縮

長尺のロックボルトを1本物で打設するには打設装置長が長くなり、打設装置が高さ方向に収まらず補助ベンチに干渉してしまう問題を先に述べた。そこで、ロックボルトを2本継ぎ構造にし、1本あたりの長さを短くすることで打設装置全長を短縮することにした（図-6）。2本継ぎ構造を実現するためにいくつかの課題を解決する必要があった。

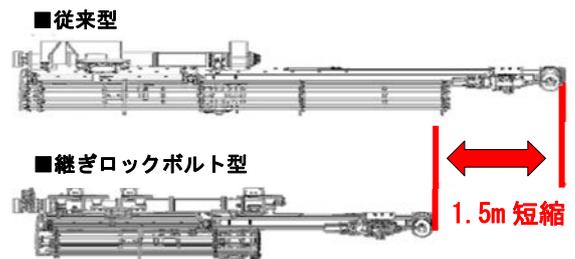


図-6 打設装置の短縮

a) 継ぎロックボルトの開発

2本のロックボルトを繋ぐ連結部の構造は汎用性の高いネジ構造を採用した。ネジ加工は、連結時にネジ山が潰れるリスクを鑑み、丸みを帯びたロープネジ構造を採用した（図-7）。ネジ部を連結するには2本目のロックボルトに回転を与える必要がある。そこで、2本目のロックボルトの端部を四角加工し、専用の押し込み治具で四角部を捕捉したあと回転を加えられるようにした。



図-7 継ぎロックボルト（RS アンカー）

b) ロックボルトクランプ装置の開発

ロックボルトを継ぎ足す構造とした際の打設手順は図-8の通りとなる。2本目のロックボルトを回転接続する際に、1本目のロックボルトが供回りしないよう、1本目のロックボルトの端部を把持する機構が必要であった。そこで、ロックボルトクランプ装置（図-9）を開発した。

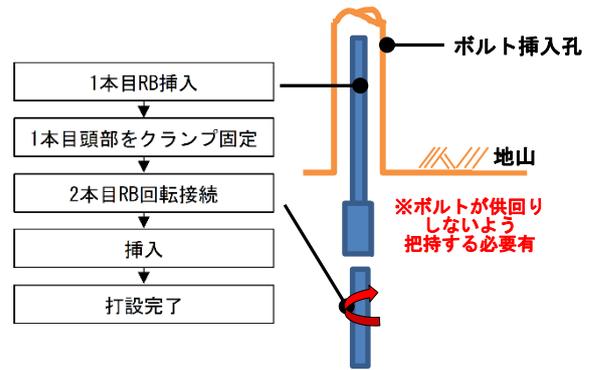


図-8 打設手順

(2) 施工時間の短縮（生産性向上）

前述の通り、削孔からロックボルト打設作業までの一連の作業を行える既存打設装置では施工時間が従来の工法より長くなる。そこで、施工時間の短縮を目的に、削孔用ブームとモルタル充填・ロックボルト挿入用ブームに分けることとした（図-10）。これにより、打設装置が軽量化され、1台の機械に削孔専用ブームを2台、モルタル充填・ロックボルト挿入専用ブームを1台（計3台のブーム）搭載できるようになった（図-11）。2台の削孔用ブームで削孔を行い、それを追いかけるようにモルタル充填・ロックボルト挿入用ブームでロックボルトを打設できるようになり、理論上施工時間の短縮（生産性を向上）を図った（図-12）。

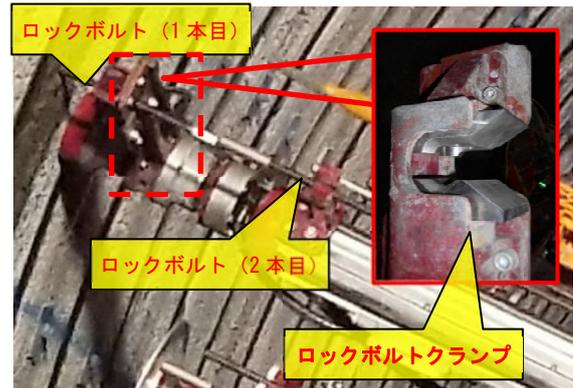
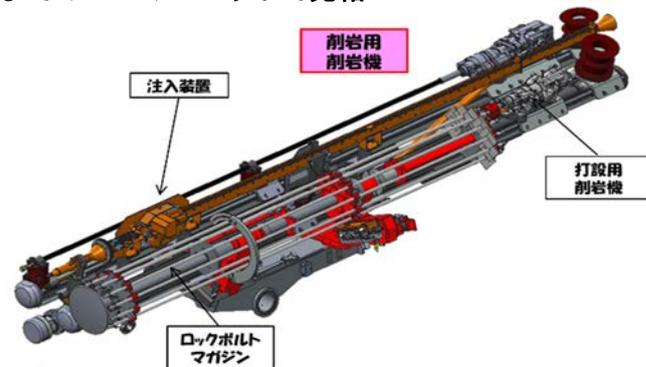


図-9 ロックボルトクランプ装置

■既存打設装置

削孔～打設までの1つのユニットで完結



■開発した打設装置

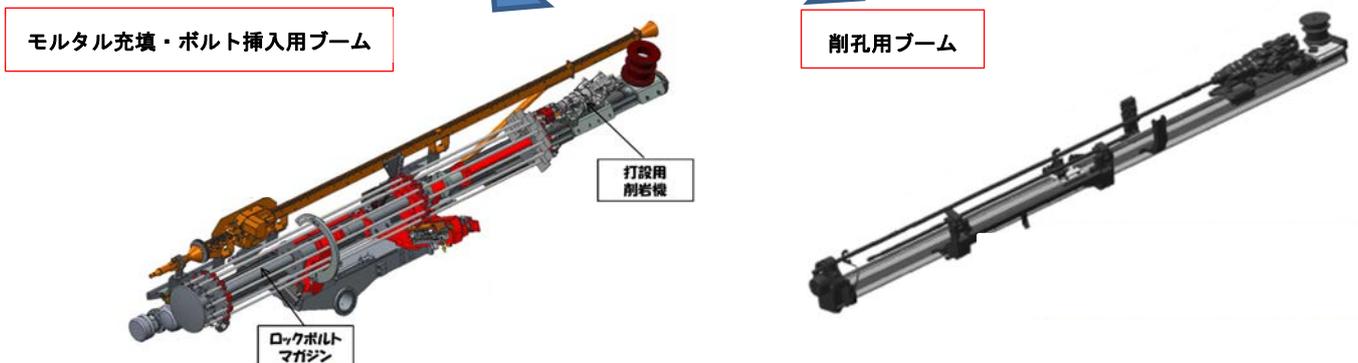


図-10 削孔用ブームとモルタル充填・ロックボルト挿入用ブームの分割

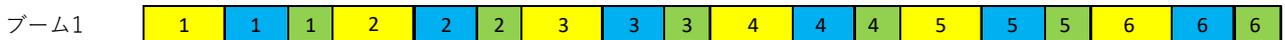


図-11 開発打設装置（ボルティンガー）

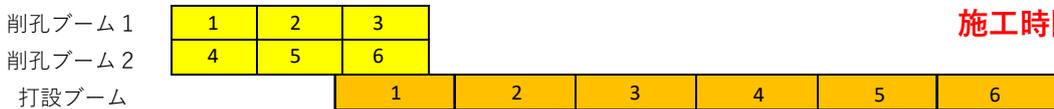
■従来の機械（ドリルジャンボ）



■一体型機械（既存打設装置）



■開発機械（ボルティンガー）



施工時間の短縮（生産性向上）

※6本のロックボルトを打設する際のサイクル比較。

横軸は経過時間を、1～6の数値はロックボルトナンバーを表す。



図-12 6mのロックボルトを6本打設する際の
従来機械・既存打設装置と開発打設装置（ボルティンガー）の作業サイクル比較

4. 現場での実証

(1) 現場運用での課題と対策

現場運用で、以下のような課題が発生したため対策して改善した。

a) ロックボルト挿入の難しさ

既存打設装置は削孔～ボルト打設までの作業を1つのブームで行うことができるため、削孔角度とボルト挿入角度を合わせることができ、比較的スムーズなボルト挿入が可能である。一方で削孔用ブームとモルタル充填・ボルト挿入用ブームを分けた今回の機構では、削孔用ブームで削孔した後、モルタル充填・ボルト挿入用ブームを削孔時の位置・角度に合

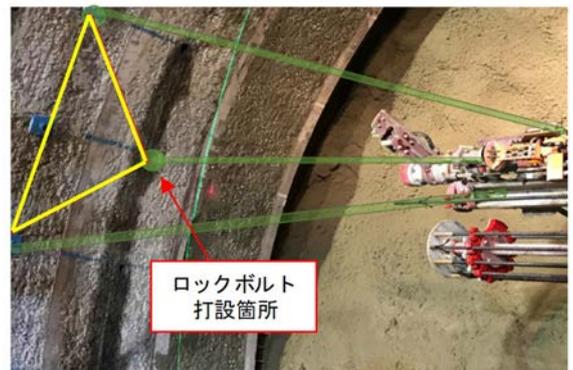


図-13 3点照射レーザーの設置

わせる必要があり、この操作が難しく時間を要した。そこで、各ブームに3点照射レーザーを設置した(図-13)。1点はこれから削孔(ボルト打設)しようとする位置に、残り2点は1間手前の既打設ロックボルト位置にレーザーを照射する設定とした。3点照射で形成される三角形を、削孔時とボルト打設時のそれぞれで合わせることで、削孔位置・角度にロックボルトの挿入位置・角度を併せることができ、施工性を改善することができた。

b) ロックボルトクランプの操作の難しさ

削孔位置・角度とロックボルトの挿入位置・角度を合わせることはできたが、ロックボルトの径よりも削孔径が大きいことから、打設角度によっては挿入後のロックボルトの芯がずれることがあった(図-14)。2本のロックボルトを継ぐ際に、1本目のロックボルトの端部をロックボルトクランプで把持する必要があるが、この芯ずれが原因で、1本目のロックボルト端部をロックボルトクランプで把持することができず、スムーズな連結を行えないことが課題となった。そこで、ロックボルトクランプの口元にテーパ部材を設置し形状を改良した(図-15)。これにより、ボルトの位置が多少ずれてもロックボルトクランプで把持することができ、施工性を改善することができた。

c) マガジンからのロックボルト脱落

マガジン(図-16)にロックボルトを補充する作業は人力であるため、マガジン部のつかみの抵抗はある程度必要であるものの、抵抗が大きすぎると補充作業が重労働になる。一方で、抵抗が小さすぎると、打設装置を上向きにした場合、つかみ部分からロックボルトが落下してしまう。現場実証当初はつかみ部分の抵抗が小さく、ロックボルトが落下することがあった。そこで、つかみ抵抗を増やすためにつかみ部にボルトを追加設置した(図-17)。これにより、ロックボルトが落下することが減り、施工性を改善することができた。

5. 活用効果と今後の展望

前述の課題を解決することで、スムーズにボルティンガーによるロックボルト施工ができるようになり、図-12のような施工サイクルで施工できるようになった。図-18に従来のドリルジャンボとボルティンガーの切羽近傍における人力作業時間の比較を示す。モルタル充填とボルト打設を機械化したことにより、切羽近傍での人力作業時間を79%低減することができ、安全性を向上することができた。また、従来は5人で行っていた作業を3人で行えるようになり(図-19)、生産性を向上させることができた。

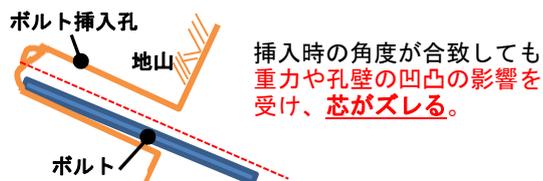


図-14 ロックボルト芯ずれ概念図

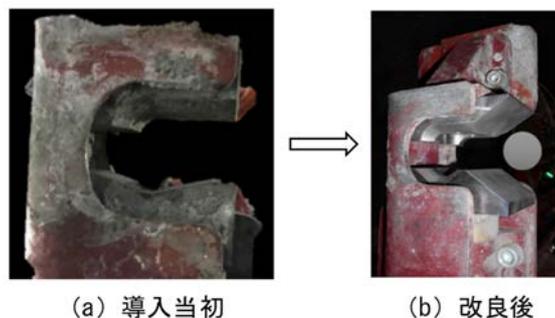


図-15 ロックボルトクランプの形状改良



図-16 マガジンへのロックボルト装填状況



図-17 つかみ部へのボルト追加設置

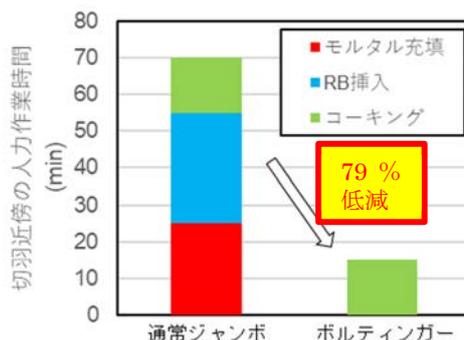


図-18 切羽近傍における人力作業時間の比較



図-19 従来工法との作業人員比較

今回の打設装置の開発においては、安全性の向上と生産性の向上に一定の効果があったと考える。今後も現場で運用を行いながら、更なる改良や改善点を見つけて対応していくことで、安全かつ合理的なトンネル工事に寄与したい。

参考文献

- 1) 宮本真吾, 友野雄士: 6m 継ぎロックボルト打設装置の開発, 第 76 回土木学会年次学術講演集, 投稿中, 2021
- 2) 川元健太郎, 古賀快尚: 6m 継ぎロックボルト打設装置の現場導入による作業の省力化, 第 76 回土木学会年次学術講演集, 投稿中, 2021