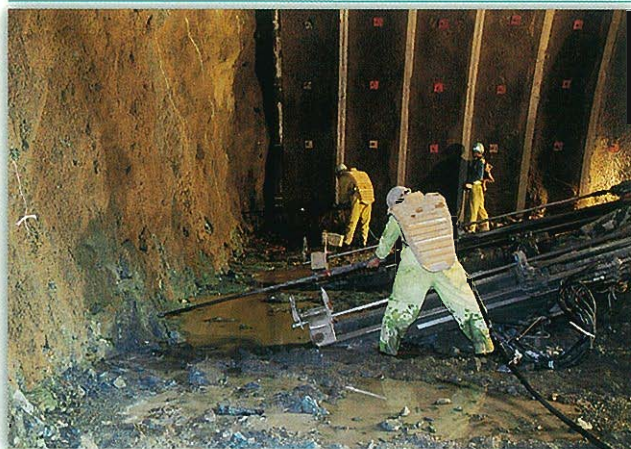


山岳トンネル工事における爆薬の 遠隔装填システムの導入



⇨ 装薬作業 切羽から離れて作業出来る



⇨ 装薬作業(下部)



⇨ 2ブームバケットより 装薬作業中

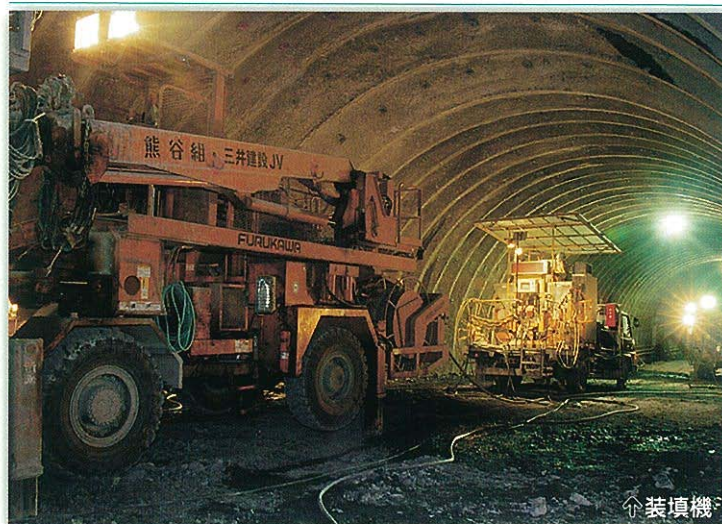


⇩ 後方より切羽をみる 装薬作業中

爆薬装填装置⇩



⇩ 爆薬供給フィーダー



⇩ 切羽より後方をみる

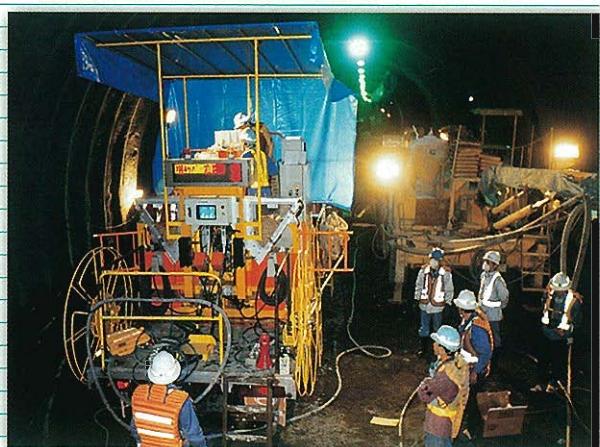
装填機



⇩ アンコ供給フィーダー



⇩ 爆薬遠隔装填装置 (台車に搭載)



⇩ 爆薬遠隔装填装置

山岳トンネル工事における 爆薬の遠隔装填システムの導入

岡田 喬・広瀬 俊文・岡本 哲也

近年における山岳トンネル工事事故は切羽近傍で発生しており、特に発破掘削方式の爆薬装填作業時にその可能性が高い。この理由としては、爆薬装填作業時の切羽が削孔作業の影響により緩んでいることが多く、肌落ちや崩落発生の可能性が高い切羽に密着して、長時間の人力作業となっているためであると考えられる。このような危険性を回避するためには、装填作業をできるだけ切羽から離れて行うことが現実的に最も良い手法であると考え、爆薬装填作業の遠隔操作化実現に努めた。そこで、火薬類取締法を遵守した爆薬遠隔装填システムの開発を行うことにより、実用化レベルでの施工技術改善により、爆薬装填作業の安全性向上と効率化を達成した。

キーワード：トンネル、爆薬、装薬、遠隔装填、遠隔操作、発破

1. はじめに

現在、山岳トンネル工事においても飛躍的な機械化が進んでおり、現場作業の省力化と安全性の一層の向上が求められている。しかし、山岳トンネル工事で切羽付近における事故発生の可能性は依然として高く、重大災害につながることが多いのが現状である。

特に、山岳トンネル工事の掘削で最も代表的な発破掘削方式における爆薬の装填作業は、依然として機械化、自動化が進まず、人力作業が中心となっている。装薬時の切羽は削孔の影響により緩んでいることが多く、肌落ち、崩落の危険性が高い。

したがって装薬作業は、作業前に切羽のこそくを行って切羽の安定性を十分確保し、プロテクタを着用して配置した看視人共々安全を確認しながらの作業となっている。言い換えると、肌落ちや崩壊発生の可能性のある切羽に密着しなければならない危険作業となっている。

このような危険性の回避には、装填作業をできるだけ切羽から離れて行うことが、現実的に最も良い手法である。このため、トンネル掘削における爆薬の遠隔装填は、従来から事例は少ないが開発、試作された実績はあったが、すべて実用化に至らなかった。そこで、実用化を念頭におき、これまでの事例での実用化に至る阻害要因を考慮し、爆薬遠隔装填技術の開発を行った。

本報文は、火薬類取締法を遵守した爆薬遠隔装

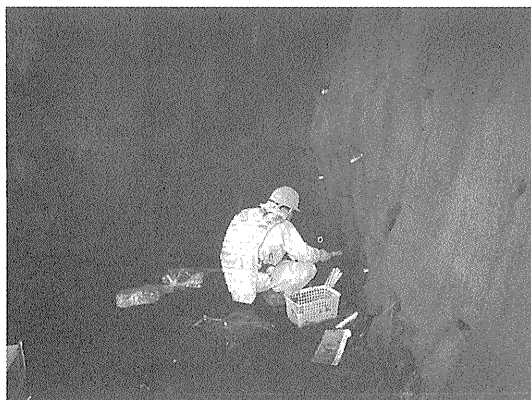


写真-1 切羽に近づいての人力による装填作業



写真-2 実現した遠隔装填作業

填システムの開発と、実用化レベルでの施工技術改善による、実作業における安全性の向上と効率化について報告を行う。

2. 爆薬遠隔装填システムの開発

(1) 開発条件

これまでの事例での実用化に至る阻害要因としては、

- ① 火薬類の取扱いが人力を基本に制定されている法令のもとで機械化する際の制約・解釈の厳しさ、
- ② 爆薬・その他装填材料の特注品化の困難さと、装薬の事前準備作業の手間、
- ③ 装置の耐久性を含めた信頼性、
- ④ 機械化の人力に対する煩わしさ、

等が挙げられる。また、装薬作業は、その取扱いに際して高い安全性と管理を要求される爆薬・雷管の他に、形状の不安定な詰め物(タンピング材)という特殊な物を扱わなければならない。

しかしながら、爆薬や起爆法という材料面から新たに開発することは、現実的に多くの障害が予想される。このためできるだけ、現在使用している爆薬・雷管をそのまま使用し、法的にも既に解決されている技術を利用することを原則とし、さらにこれらの開発技術を実用化レベルまで高めることを条件とした。

以上のような点や安全性・効率性を含め、システムの具体的な条件は次のようになる。

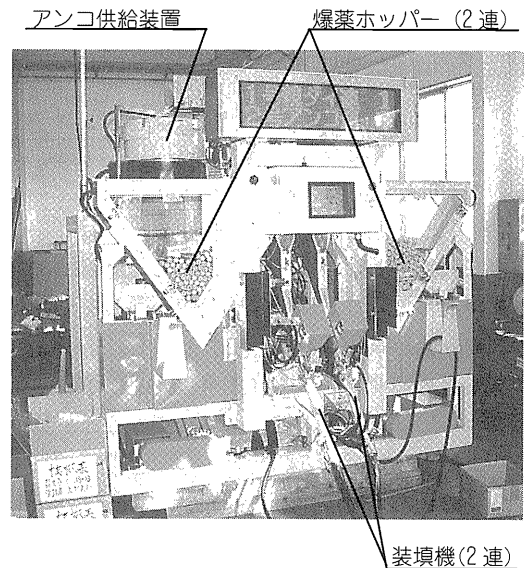
- ① 切羽に密着せず作業ができること
- ② 現在使用している爆薬・雷管を対象にすること
- ③ 法的に解決しなければならない点がないこと
- ④ 爆薬と雷管の取扱いに関しては制御も含め電気を使用しないこと
- ⑤ 雷管には衝撃を与えないこと
- ⑥ 静電気の発生を防止すること
- ⑦ 装薬者が作業の切替え、増しダイの本数指定を手元で簡単にできること
- ⑧ 増しダイ及び詰め物を供給装置等に入れる場合、事前の特別な作業を必要としないこと
- ⑨ 爆薬の数量管理が確実にできること

- ⑩ 装薬孔の清掃も切羽に密着せず、確実にできること

これらを踏まえて、本システムは現有材料の使用、余分な準備作業の撤廃、人力作業に劣らない作業性を織込み、火薬類取締法を遵守した内容で開発した。

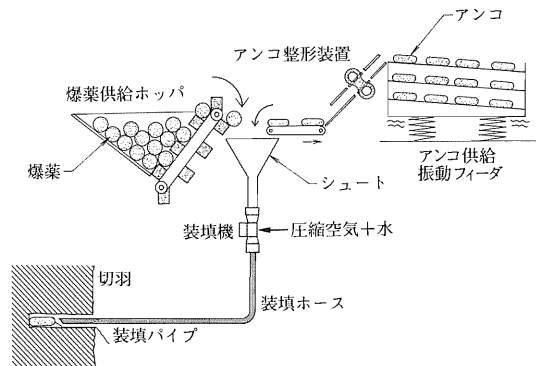
(2) システムの構成

爆薬遠隔装填装置は、爆薬供給、タンピング材供給、装填機の各装置を組込んだシステム本体(写真—3参照)と、装填ホース・装填パイプ、手元スイッチから構成されている。



写真—3 遠隔装填装置本体

図—1に装置の構成模式図を示す。なお、爆薬を送る動力は圧縮空気、制御信号は光信号(光ファイバー)として、取扱いの安全性に万全を期



図—1 遠隔装填システム構成図

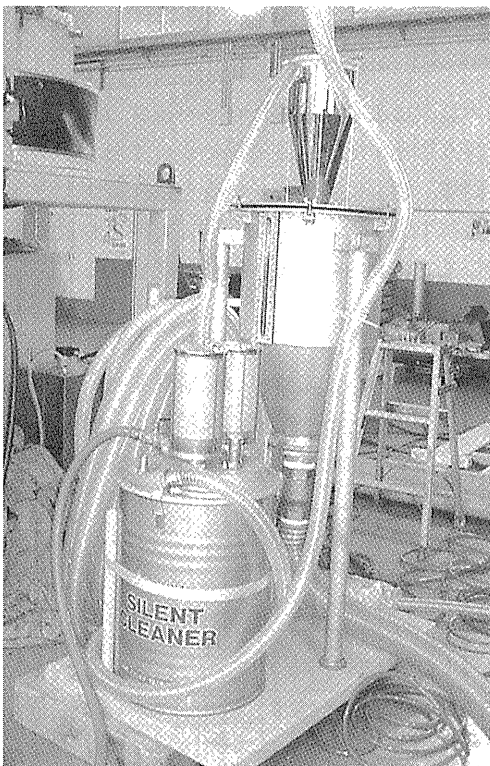
している。また本装置は、これらのシステムを2 set 一体としたシステムで構成されている。

装填孔は通常の削岩機で削孔された孔を使用する。遠隔装填では、離れたところから装填孔にパイプを挿入するため、従来にも増して孔内を良好に保つ必要があり、孔内に残ったくり粉や岩片を処理して、障害物のない孔内にする必要がある。従来は、キューレンと呼ばれる耳搔き棒を用いたり、エアブローにより孔清掃作業を行っている。

この方法の場合、孔荒れがさらに進行したり、途中で岩片が残ったりすることも多く、確実な方法とは言い難い面がある。

これを解決するため、孔壁を乱さずに遠隔で孔清掃ができ、さらに孔内の状態を確認できる機能を有する、バキュームとブローを組合わせた新方式の遠隔孔清掃装置（ハイブリッドスウィーパ）を同時に開発した。孔清掃装置を写真—4 に示す。

以下に各装置の、機能を示す。



写真—4 孔清掃装置（ハイブリッドスウィーパ）

(a) 爆薬供給装置

爆薬の形状と性状（紙パイプ内に充填された膠質状のもので、やや不定形でフレキシブル）を考

慮して、溝付きフィーダを壁面に配置した特殊ホップと、ファイバー式光電センサのチェック機構の連動で、確実に指定数量の爆薬をしかも1本ずつ確認しながら装填機に供給する機能を有している。爆薬の通過するこれらの部分は、その他の部分と完全に絶縁しており、爆薬への安全性を確保している。

また、爆薬の供給は、通常の梱包仕様のものを開封しそのまま並べて入れるだけのため、準備作業は全く必要としない。

(b) タンピング材供給装置

粘土性のタンピング材を、フィーダに投入し、ホップの振動フィーダにより自動整列させ、指定本数を計量して装填機に連続供給する機能を有している。また、タンピング材は運搬中に変形することが多いため、所定の形状に整形してカートリッジへの最終の送込みを行う機能も付加した。

爆薬と同様に、通常の梱包仕様のものを開封・投入するだけでよく、事前の準備作業を全く必要としない。

(c) 装填機

各供給装置より供給された爆薬・タンピング材を装填ホース及びパイプを通して、装薬孔に送出す装置である。

装填機の主機能は、ファイバー式光電センサにより、爆薬またはタンピング材の通過を確認し、バルブを閉じ、そこに低圧（3 kgf/cm² 以下）のエアを噴射させ、材料をここから送り出して、ホース内をエア搬送させる。また、エアに少量の水を強制的に混入させて、搬送時の静電気の発生と閉塞を防止している。

(d) 装填ホース及び挿入パイプ

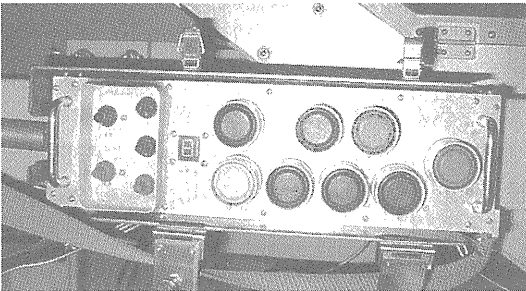
装薬ホースは、高い断面保持能力と一定のフレキシブル性を有し、ハンドリングも良く、しかも帯電を防止できる導電性ホースを使用している。さらにホースの内壁にらせん状の溝があり、そこに水を溜めることにより、より静電気発生防止に努めている。また、ホース先端には、絶縁性および剛性が高い軽量のCFRP製のパイプを接続しており、離れた位置から容易に装薬孔に挿入することができるようにしている。

親ダイの装填は、作業者が装填パイプ先端に親ダイを装着し、パイプを装薬孔奥まで挿入し、エ

アにより孔内に送出す方式のため、雷管には衝撃が加わらない。雷管の脚線は、パイプの外側を通していているため、増しダイやタンピング材（アンコ）の搬送、装填時に傷つける危険性はない。なおCFRPパイプの先端は、親ダイをセットしやすくするため、内径をいくらか大きくし、また孔内で圧送エアにより爆薬が踊ったりしないように、エア抜きを工夫している。

(e) 制御及び手元スイッチ

装填操作のための制御信号は、爆薬・雷管への安全性から、電気信号が使用できないため、応答性と安全性を重視し、光ファイバー信号を採用している（写真—5参照）。



写真—5 手元操作スイッチボックス（光SW）

作業者は手元の、光ファイバー式リモコンスイッチにより、親ダイ・増しダイ・タンピング材の順序で、各作業を確認しながら操作信号を出すことができ、その時の作業内容は、リアルタイムに装填機本体の表示器にも表示されている。また、増しダイ及びアンコの本数も手元のスイッチで設定することができる。

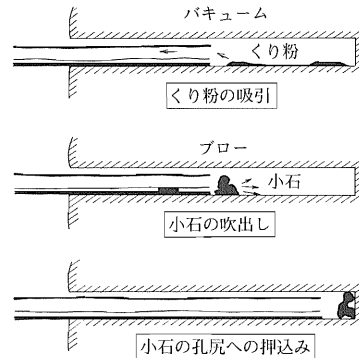
制御にはシーケンサを採用し、ハード及びインターロック回路により、装填ホースの内圧及び静電気防止装置の監視、数量管理、操作ミスによる誤動作防止等の安全対策を施している。

(f) 孔清掃装置

パイプを装薬孔に挿入し、その先端でバキュームと少量のブローをかけ、くり粉や小さなずりをほぐしながら吸込む。したがって、孔壁に必要な以上の衝撃を加えないため、孔荒れを最小限に抑えることができる。また、吸込みが困難な大きな岩片は、バキュームを停止またはそれに近い状態で、ブローを主体に岩片を浮かせ飛ばせながらパイプを孔奥へ移動させ、最終的に孔尻に押しや

り、岩片を吸取のではなく孔奥に置いて来る方式とした。

その後、ブローおよびバキュームを切ってパイプを引抜けば、孔内の障害物を確実に除去できる。なおバキュームの on-off は、手元のパイプの握り部で、握り加減で調整できるようにして、操作の簡素化に努めている。孔清掃の手順を図—2に示す。なおバキュームは、圧縮空気を利用している。

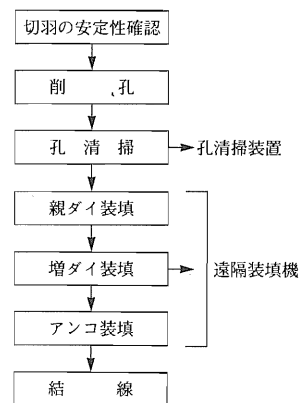


図—2 ハイドロスイーパーによる孔清掃手順

本装置により、遠隔からのパイプの挿入が確実に行うことができ、孔清掃についても、装薬作業と同様、切羽に密着せずに安全に作業ができ、しかもバキュームパイプを孔尻まで押込む過程で、そこまでの孔内の清掃状況を確認できる。

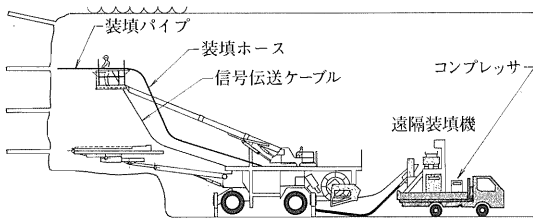
(3) 施工法

本システムによる爆薬の装填作業は、図—3のような手順で行う。最終的な結線は、脚線を長めにしてたぐり寄せるようにすれば、切羽から距離



図—3 切羽での爆薬装填作業フロー

を確保することができ、本システムを採用することにより、削孔からすべてを切羽から離れた作業が可能となった（図—4 参照）。

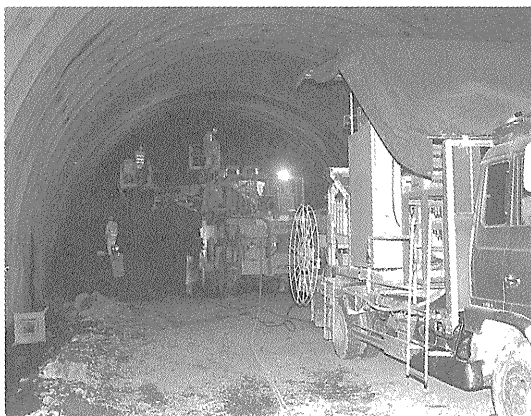


図—4 本システムの全体概念図

清掃は、孔内清掃を行いながらスウィーパのノズルを孔奥まで挿入することで、爆薬を装填可能な状態にあるかどうかを確認する。親ダイ装填は、装填パイプの先端に親ダイを取付け、装填パイプを孔内に収めると同時に孔尻へ親ダイを移送し、親ダイ圧送エアで孔尻へセットする（親ダイ発射）。

その後増ダイは、手元の操作ボタンで所定の数量を決定し、パイプを引抜きながら発射指令ボタンにより連続的に孔内を圧送、装填される（増ダイ発射）。

すべての増ダイの装填が確認されると、次にタッピング材装填指令で、所定の数のアンコが同じ装填装置を通して圧送される。これらの作業は前述したように、切羽から数 m 離れた状態で行うことができる。なお、高所はバスケット上から、下部は直接地盤上から行う。これらの作業を孔毎に順次行い、最終的に結線を行う（写真—6 参照）。



写真—6 本システムを用いたトンネル現場での遠隔装填作業全景

3. 爆薬装填システムによる効率化

爆薬装填システムは、切羽作業の安全性向上のため、爆薬装填の遠隔操作で爆薬を機械的に取扱う場合の安全性を実現した。また、本システムによる遠隔装填では、安全性向上の他に、以下に述べる効果も得られた。

（1）装填率の向上

爆薬装填システムによる装填率は、手動に比べ良好でかつ安定している。爆薬及びタッピング材の両者における模擬孔での実験では、人力に比べ同一材料で充填長が 20～30% 程度短くなり、孔奥に集中した密装填となる（写真—7 参照）。この結果、爆力が強大かつ安定するため、破砕威力が向上する。

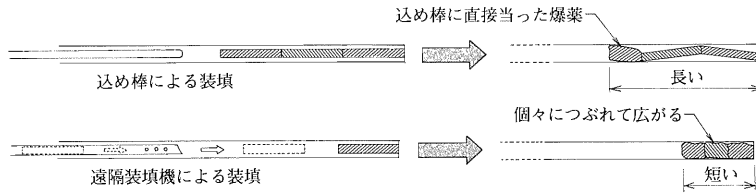


写真—7 模擬孔による本システムでの装填状況（親ダイを除いて増ダイ、アンコすべて個々に装填されている）

これは、従来の込め棒で充填している方法に対し、本方式では個々の爆薬自身がある一定のスピードで孔内に送込まれ、その速度の衝撃で個々に押しつぶされるため、個々の爆薬が均質かつ良好に充填できるためである。手動では、爆薬をある本数毎同時挿入してから込め棒で押しつけて充填させる場合が多く、この方法では、込め棒に当たった爆薬のみが押しつぶされるため、均一な充填がされにくい（図—5 参照）。

（2）人力の装薬作業の改善

人力による装薬作業では各孔に対し、爆薬・タッピング材の挿入から、込め棒で突いて充填する



図一五 孔内での充填状況模式図

作業の繰返しとなる。詰め棒での突込みは、かなりハードな作業であり、作業環境、姿勢も時には無理な場合もあり、全体として単純繰返し作業も考えると、かなり苦渋性の高い作業となっている。今回の本システムの採用で作業者からは、苦渋性解消のメリットの評価も高く、彼らの積極的な使用気運が永続的な完全稼働の大きな要因になっている。

以上のように、現在の山岳トンネル工事における切羽での作業環境と作業内容は、安全性の向上の他に、従来から当たり前だと考えられてきた人力中心のトンネル施工における作業性の改善に大きく貢献している。当初の安全性の向上という主目的の他に、品質や機械化による作業性の向上等で大いに効果を上げている。施工実績を表一に示す。

表一 施工実績

施工年月	件名	発注者	稼働状況
平成 8 年 6 月	東海北陸自動車道 城端トンネル工事	日本道路公団	試作機による 試験施工
平成 9 年 2 月	九州自動車道 肥後トンネル南工事	日本道路公団	試作機による 試験施工
平成 10 年 2 月	松山自動車道 中山トンネル工事	日本道路公団	実用形タイプによる 実用レベルでの試用
平成 13 年 11 月 ～現在に至る	新庄寝坂トンネル 工事	国土交通省	本格的な継続稼働で 現在に至る

4. ま と め

爆薬遠隔装填機の開発、実用化により、山岳トンネル発破掘削における爆薬装填作業の安全性が現実的に向上したことはもちろん、切羽近接作業

に対する安全意識の高揚にもつながったと言える。安全性の向上のほかに、均質で良好な密装填により、発破効果の向上にもつながり、また従来から当たり前だと考えられてきた人力装薬作業の苦渋性の改善に大きく貢献し、作業の効率化にも寄与していると言える。

今後、爆薬遠隔装填機の使用機会増加により装填機本体の開発製造コスト低減を図り、作業の安全性や苦渋性にコスト評価がさらに高まれば、十分な経済効果につながると考えられる。これにより、山岳トンネル発破掘削方式の標準施工機械として活用していきたい所存である。

【筆者紹介】

岡田 喬 (おかだ たかし)
株式会社熊谷組
土木本部
トンネル技術部



広瀬 俊文 (ひろせ としふみ)
株式会社熊谷組
東北支店
新庄寝坂トンネル作業所



岡本 哲也 (おかもと てつや)
株式会社熊谷組
土木本部
トンネル技術部

