

山岳トンネルの遠隔爆薬装填システム

REMOTE CHARGING SYSTEM IN TUNNELLING

岡田 喬¹⁾・御手洗良夫¹⁾・垣内 幸雄²⁾・畔高 伸一²⁾

Takashi OKADA, Yoshio MITARASHI, Yukio KAKIUCHI and Shin'ichi AZETAKA

The new remote charging system for the explosives and the clay tamping by air is developed to eliminate the dangerous works of the charging and the jointing of leg wires as well as the cleaning drilling holes.

Until now, the prototype machine designed to supply explosives for a drilling hole was produced in the first stage. Through the basic experiment and the in-site test execution using this machine, it was verified the safety and the validity of the whole system to apply the real works. The practical machine has been designed and produced to supply explosives for 3~4 drilling holes simultaneously, and this system will be soon applied to the tunnelling works.

Key words: tunnel, construction safety, blasting, remote operation, charging

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み、高速施工が可能となり、作業の効率化に加え、安全性も向上してきている。

しかしながら、山岳トンネル工事における切羽付近での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が多いのが現状である。このため、切羽付近での重大災害を防止する目的で、次に示すような項目に分けて技術開発を推し進めている。

① 切羽及びその前方地山の安定評価システム

② 切羽付近での作業の安全化

これらのうち、山岳トンネルの爆破方式の場合の、切羽での作業の安全化を目的として開発を行っている「爆薬の遠隔装填システム」について報告する。

本システムは、作業員が切羽に密着して行わなければならない爆薬の装填・結線作業を、遠隔操作化して、できるだけ切羽に近づかないで、安全に作業ができることを目的として、開発を行っているものである。本システムは現在までに、遠隔装填機のプロトタイプを製作し、工場実験、採石場及びトンネルでの現場実証試験により安全性、適用性等の確認を終え、現在、実用機的设计・製作を行っている。

以下に本システムの概要と実証実験の状況を報告する。

2. 開発の目的及び条件

1) 開発目的

爆破方式の場合の標準的な作業の流れと各作業の主な使用機械を示すと図-1のようになる。一部の作業

1) 正会員 株式会社熊谷組土木技術部

2) 株式会社熊谷組土木技術部

を除けば、機械化等により作業員が切羽へ立ち入ることなく、安全に施工することが可能になってきている。

このうち、装薬・結線作業は、機械化・自動化が進んでおらず、依然として、作業員が肌落ちや崩壊発生の可能性のある切羽に密着して作業を行わなければならないのが現状である。

さらに、装薬・結線時には、削孔の影響により特に切羽がゆるんでいることが多く、危険な作業となっている。現状では、作業前に切羽のこそくを行い、切羽の安定性を十分確保した後、看視人を配置し、プロテクターを着用して、安全を確認しながら作業を行っている。

よって、本システムでは、装薬・結線作業を、作業員ができるだけ切羽に近づかずに、安全に作業できるということを目的として開発するものとした。

また、装薬孔が孔崩れを起こした場合の装薬孔の清掃作業も切羽に密着しなければならないが、従来の方法では確実に言い難い面がある。このため、孔清掃作業も含め、切羽に密着せずに行え、遠隔装填が確実に行える全体のシステムとして開発するものとした。

2) 開発条件

図-2に装薬・結線作業の手順を示す。装薬・結線作業は、高い安全性と管理を要求される爆薬・雷管の他、形状の不安定な込め物という特殊な物を扱わなければならないが、自動化・機械化を行う場合、法的にも解決しなければならない面が生じることが予想された。

しかしながら、新たに爆薬や起爆法を開発することは、これらの開発や法的な面を解決するために、長期間を要することが予想される。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に開発を進めるものとした。

以上のような点や安全性・効率性を含め、以下に示すような項目を条件として、システム全体及び装置の開発を行うものとした。

- 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 増しダイ及び込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行えること。
- ⑩ 装薬孔の清掃も切羽に密着せず、確実に行えること。

3. システムの概要と特徴

前述の開発目的及び条件に基づき、装薬・結線作業が切羽に密着せず行えるように、切羽より2～3m離れた位置から、装填用パイプを装薬孔に挿入し、遠隔操作により、後方の装填装置から爆薬と込め物をエア（低圧）で搬送・装填できる遠隔装填装置を開発した。

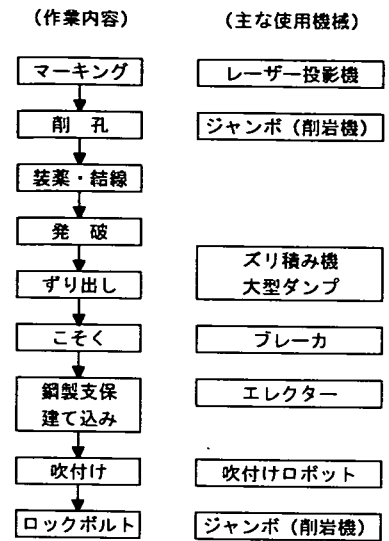


図-1 山岳トンネルの作業の流れ

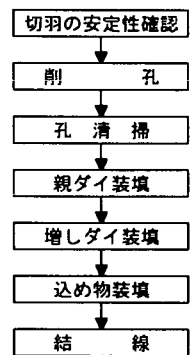


図-2 装薬・結線
作業の流れ

エア搬送式の爆薬装填機は、明りでの発破を対象に既に開発された装置があり、エア搬送自体は、法的にも解決済みであった。この技術を基本に、最近の制御技術を取り入れ、新たに装填機及びその周辺装置を開発し、全体システムとしたものである。

また、装薬孔清掃は、確実に孔清掃ができ、切羽に密着せず作業のできる「ハイブリッドスイーパー」を同時に新規開発した。図-3に遠隔装填システム全体図を示す。

以下、本システムの各装置の構成とそれぞれの特徴を示す。

1) 遠隔装填装置

遠隔装填装置は、含水爆薬供給・込め物供給・装填機の各装置と、装填ホース、装填パイプ、手元スイッチから成っている。写真-1に装填機の全景を示す。

①爆薬供給装置 (写真-2)

本装置は、爆薬の形状を考慮した掻き上げコンベアを備えた新規開発の爆薬供給装置である。本装置は、コンベアとファイバー式光电センサーを連動させることにより、確実に爆薬を1本ずつ装填機に供給することができる。動力源はエア用いるとともに、その他の部分とは絶縁対策により、完全分離した構造とすることにより、爆薬への安全性を確保している。また、供給機への爆薬のセットは、爆薬の梱包を解き、そのまま入れるだけで良く、事前の準備は全く必要としない。

②込め物供給装置 (写真-3)

本装置は、込め物（粘土）を振動フィーダにより自動整列させ、指定本数を装填機に連続供給することができる。込め物は形状の不安定な粘土を用いており、運搬中にも変形することが多く、当初閉塞等を頻繁に生じていたが、新規に開発した鼓ローラ型形状の矯正装置に通し、形状を一定とした後、装填機に供給することにより、閉塞は全く生じないようになっている。、込め物も爆薬と同様、梱包を解き、振動フィーダに投入するだけで良く、事前の準備作業を必要としない。

③装填機 (写真-4)

本機は各供給装置より供給された爆薬・込め物を装薬ホース及びパイプを通して、装薬孔に送り出す装置である。装填機をに示す。エア搬送式の装填機は、前述したように明り発破を対象に既に開発されたものがあつた。エアで爆薬（含水）を搬送するという点においては、技術指針が作成されており、法的にも新

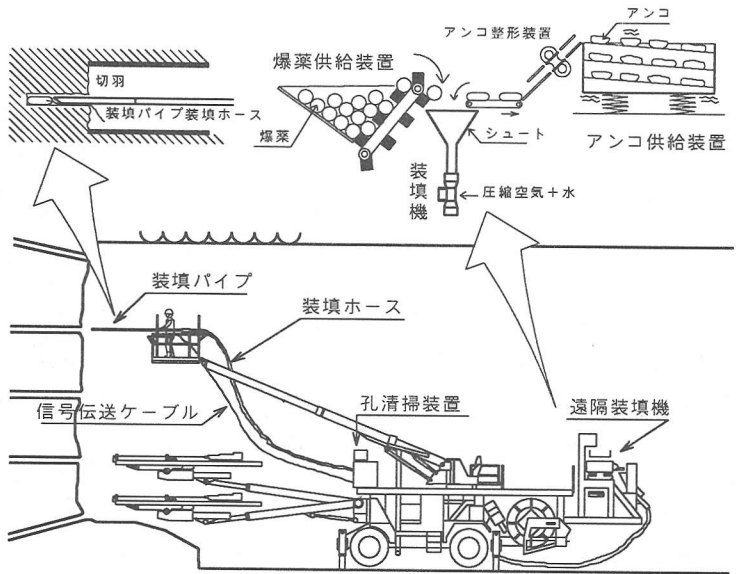


図-3 遠隔装填システム全体図



写真-1 装填機全景

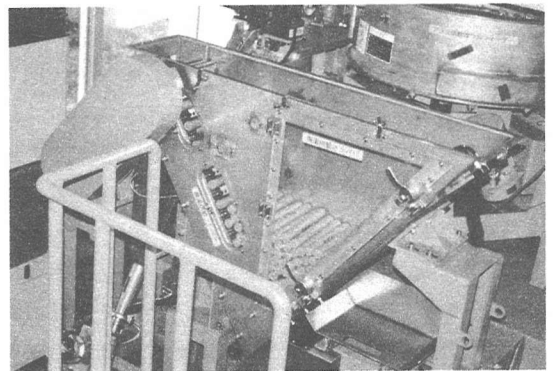


写真-2 爆薬供給装置

たに解決すべき問題はない状態であった。しかし、この装填機は手で強制的に爆薬を投入し、2つの弁を開閉することにより、エア搬送する方法のため、爆薬及び込め物供給装置からの自由落下では、閉塞しやすかったり、制御しづらい面があった。このため、2つの弁による機能を1つのバルブに切り替えたところ、制御もしやすく、閉塞も生じないようになるとともに、連続的な搬送も容易に可能となった。具体的には、ファイバー式光電式センサーにより、爆薬または込め物の通過を確認し、バルブを閉じ、低圧(3 kgf/cm²以下)のエアにより搬送するものである。また、エアに少量の水を強制的に混入させることにより、搬送時の静電気の発生と閉塞を防止している。

④装填ホース及びパイプ

装薬ホースは、簡単に折れ曲がったりして閉塞等が生じなく、ハンドリングの良い導電性のホースを使用している。また、ホース先端には軽量のCFRP製のパイプを備えており、容易に装薬孔に挿入することができる。

親ダイは、作業者が装填パイプ先端にセットし、装薬孔へ挿入後、エアにより放出させるだけであるため、雷管には衝撃が加わらず、安全性は確保されている。雷管の脚線もパイプの外側を通していているため、増しダイや込め物の搬送時に傷つけるということもない。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、また孔内で爆薬が踊ったりしないように、エア抜け構造としている。

⑤制御及び手元スイッチ

制御装置は、制御盤・電磁弁盤で構成し、爆薬及び込め物供給装置、装填機の制御、さらに、爆薬・込め物の本数管理と通過確認、水量監視、ホース内圧管理等を行い、システムを統括的に集中管理を行っている。また、各動作の指示・情報を伝達・フィードバック・表示灯を行い、全システムを円滑に管理・制御する装置としている。システム構成図を図-4に示す。

切羽で作業員が操作する手元操作盤と制御盤の信号の伝達は、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。作業者は手元で、リモートコントロールにより、親ダイ、増しダイ、込め物の順序で、各作業を確認しながら操作することができ、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

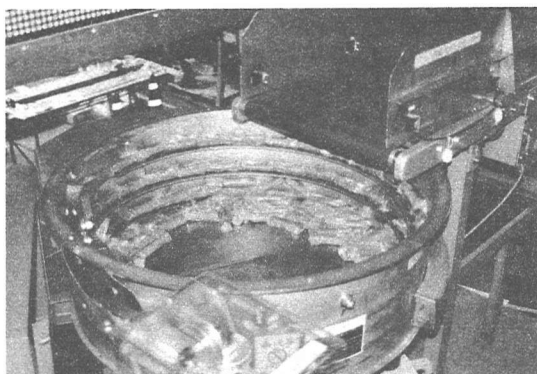


写真-3 込め物供給装置

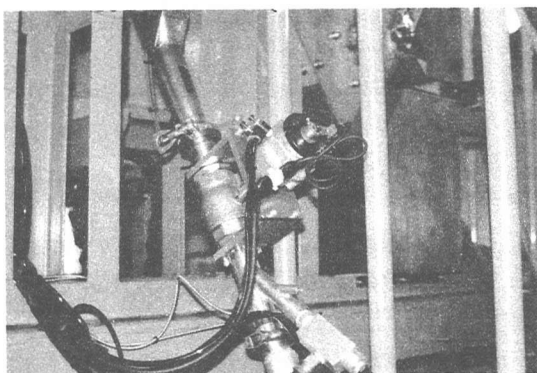


写真-4 装填機

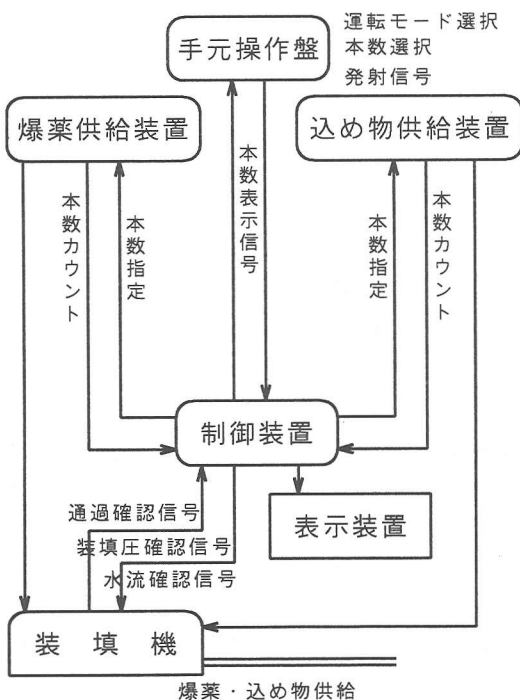


図-4 システム図

れている。また、増しダイ及び込め物の本数も手元で設定することができる。

同時に、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。特に閉塞については、一連の作業の終了時、すなわち込め物搬送終了後、強制的に一定時間エアを送り、閉塞が生じていた場合にはこれを解除するとともに、その時の圧力により、閉塞が生じていないかを確認できるようにしている。

2) 孔清掃装置

爆薬の遠隔装填を行うためには、装薬孔の清掃を確実にしておく必要がある。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、途中に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、バキュームとブローを組み合わせた新方式の孔清掃装置（ハイブリッドスイーパー）を開発した。

この装置は、パイプを装薬孔に挿入し、バキュームとブローをかけ、くり粉や小さなズリをほぐしながら吸い込む。吸い込みが困難な大きな岩片は、バキュームを停止し、ブローを主体に孔尻に押しやることにより、孔清掃を確実にしようとするものである。本装置により、遠隔装填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る。孔清掃の手順を図-5に示す。

3) 作業手順

装填作業は、ハイブリッドスイーパーによる装薬孔清掃、親ダイ放出、増しダイ装填、込め物（アンコ）装填の順序で行う。爆薬の遠隔装填装置及びハイブリッドスイーパーを用いた、本システムの作業手順のフローを図-6に示す。

4. 現場実証実験状況

これまでに爆薬の遠隔装填機のプロトタイプの試作を完了している。高い安全性と管理が要求される爆薬と雷管を扱うため、以下に示すように、模擬薬による工場と現場での実験及び明りの採石場での実爆薬による実験において安全性を確認した後、トンネル現場での実証実験を行ってきている。

- ①工場実験（模擬薬及び実爆薬による装填実験）
- ②トンネル現場実験(1)（模擬薬による装填実験）
- ③採石場現場実験（実爆薬による装填及び爆破実験）
- ④採石場現場公開実験（火薬取り扱い者を対象とした実爆薬による公開実験）
- ⑤トンネル現場実験(2)（実爆薬による装填及び爆破実験）

装薬孔への装填状態は、従来の手作業に比較して密な装填が可能となり、発破効果が向上するという結果も得られた。さらに、込め物も密に装填されていることから、飛石防止にも役立っていることが、明りの実験で確認された。トンネル現場実験では、作業架台にホースガイドを取り付け、作業架台でのパイプ及び装填ホースのハンドリングを良くする等の工夫を行い、装薬作業性の向上、装薬時間の短縮を計っている。トンネル現場での装填状況を写真-5に示す。さらに、装薬孔清掃装置は、特に踏まえ孔等の下向きの孔荒

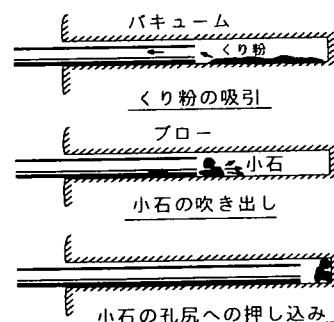


図-5 孔清掃の手順

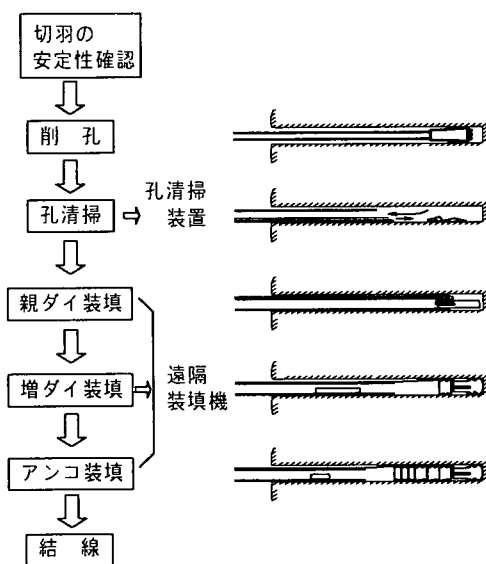


図-6 遠隔装填システムの作業手順

れの生じやすい孔には特に有効であり、ロックボルト孔への適用も可能である。

5. 実機製作状況

現在、実用機の設計・製作を行っている。実用機においては、込め物供給装置1台に対して、爆薬供給装置・装填機等を2台として製作中である。このため実機では、振動フィーダをパーツフィーダに変更し、込め物の供給量をアップする等、システム全体のコンパクト化を考えている。また、トンネル現場での装填時間を測定してみた結果では、増しダイ8本(100g/本)、込め物6本の場合、平均で約50秒/孔を要している。試作機では、込め物を1本ずつ区切って装填機に投入しているが、実用機では込め物をあらかじめ必要本数ストックしておき、まとめて装填機に投入するようにしており、現在の手作業と同等またはそれ以下の時間で可能と考えている。写真-6に実機の組立状況を示す。

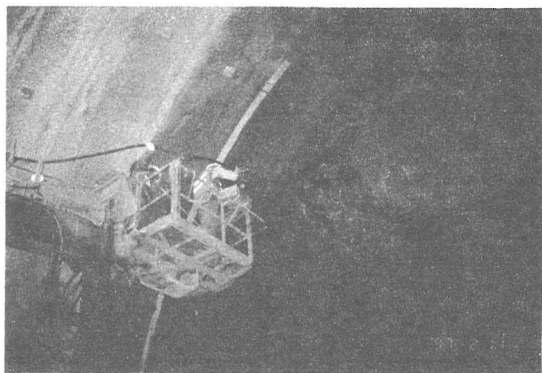


写真-5 現場実験状況

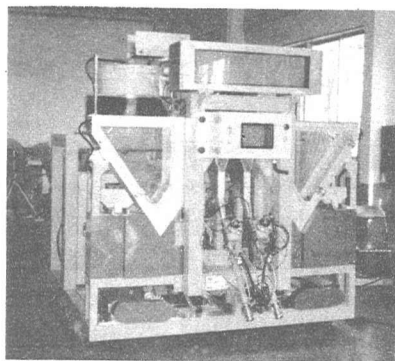


写真-6 実機組立状況

6. おわりに

切羽作業の安全性向上を目的とし、爆薬の遠隔装填システムの開発を行ってきた。装填システムとしての安全性は確認することができ、密装填が可能のため、発破効果の向上や飛石防止にも役立つことが確認できた。年内には実際の現場へ適用していく予定である。

最後に実験現場を提供していただいた関係各位に紙面を借り、心よりお礼を申し上げます。

(参考文献)

- (1)社団法人日本土木工業協会：危険・苦渋作業のロボット化報告書、昭和63年3月
- (2)建設省土木研究所道路部トンネル研究室、財団法人先端技術センター：トンネル施工における自動化技術の開発に関する研究共同研究成果報告書（要約版）、平成7年3月
- (3)佐藤、田崎、岡田、御手洗：爆薬の遠隔装填機について、火薬学会1996年度年次講演概要集、平成8年5月
- (4)岡田、御手洗、垣内、畔高、佐藤、星野：山岳トンネルの爆薬装填システム、第6回建設ロボットシンポジウム論文集、1997年7月
- (5)岡田、御手洗、垣内、畔高：山岳トンネルの爆薬遠隔装填システム、建設機械、1997年9月