

発破等の自動化・遠隔化に資する技術について

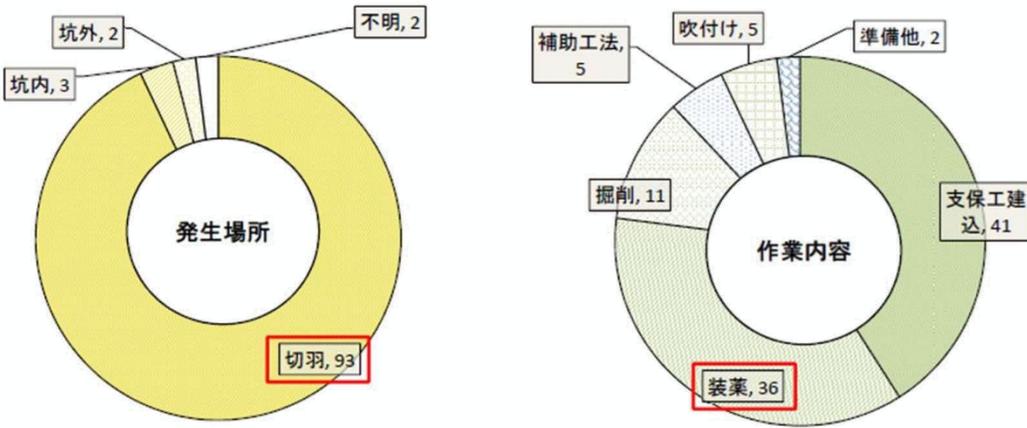
2026年3月

産業保安・安全グループ 鉦山・火薬類監理官付

1. 背景

(1) 山岳トンネル工事を巡る現状

- 山岳トンネル工事では、切羽鏡面からの肌落ち等による労働災害の発生頻度が高いこと、また、建設業界における労働者の減少や熟練技術者の不足が課題となっており、施工の自動化・遠隔化技術の普及・促進による省力化が求められている。

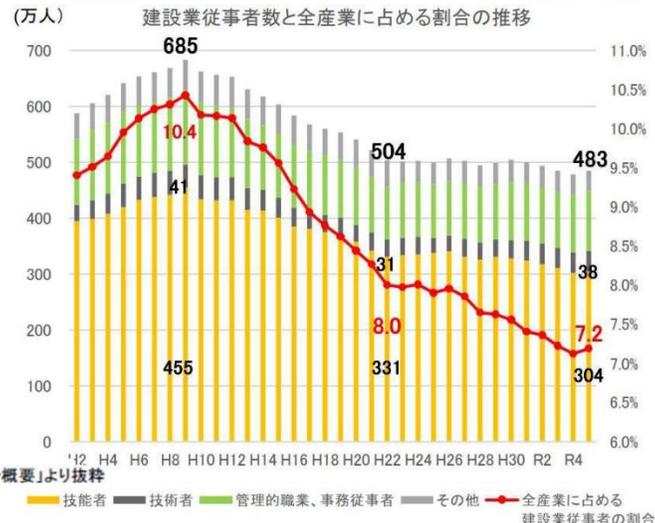


出典：厚生労働省「山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策に係るガイドライン概要」より抜粋

トンネル工事における肌落ち災害の発生状況
(出所：トンネル発破作業の自動化・遠隔化技術の現状」中間とりまとめ (案))

技能者等の推移

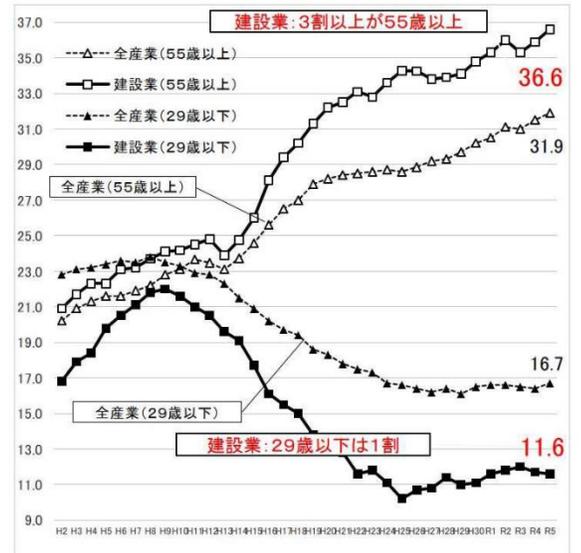
	<就業者数ピーク>	<建設投資ボトム>	<最新>
○建設業就業者	685万人(H9)	504万人(H22)	483万人(R5)
○技術者	41万人(H9)	31万人(H22)	38万人(R5)
○技能者	455万人(H9)	331万人(H22)	304万人(R5)



出典：総務省「労働力調査」(暦年平均)を基に国土交通省で算出
(※平成23年データは、東日本大震災の影響により推計値)

建設業就業者の高齢化の進行

- 建設業就業者は、55歳以上が36.6%、29歳以下が11.6%と高齢化が進行し、次世代への技術承継が大きな課題。
※実数ベースでは、建設業就業者数のうち令和4年と比較して55歳以上が5万人増加(29歳以下は増減なし)。



出典：総務省「労働力調査」を基に国土交通省で算出

技能者等の推移および建設業就業者の高齢化の進行
(出所：トンネル発破作業の自動化・遠隔化技術の現状」中間とりまとめ (案))

(2) 発破作業の自動化・遠隔化について

- 令和7年4月1日、国土交通省（道路局国道・技術課）は、「トンネル発破作業の自動化・遠隔化技術の現状」中間とりまとめ（案）を公表。

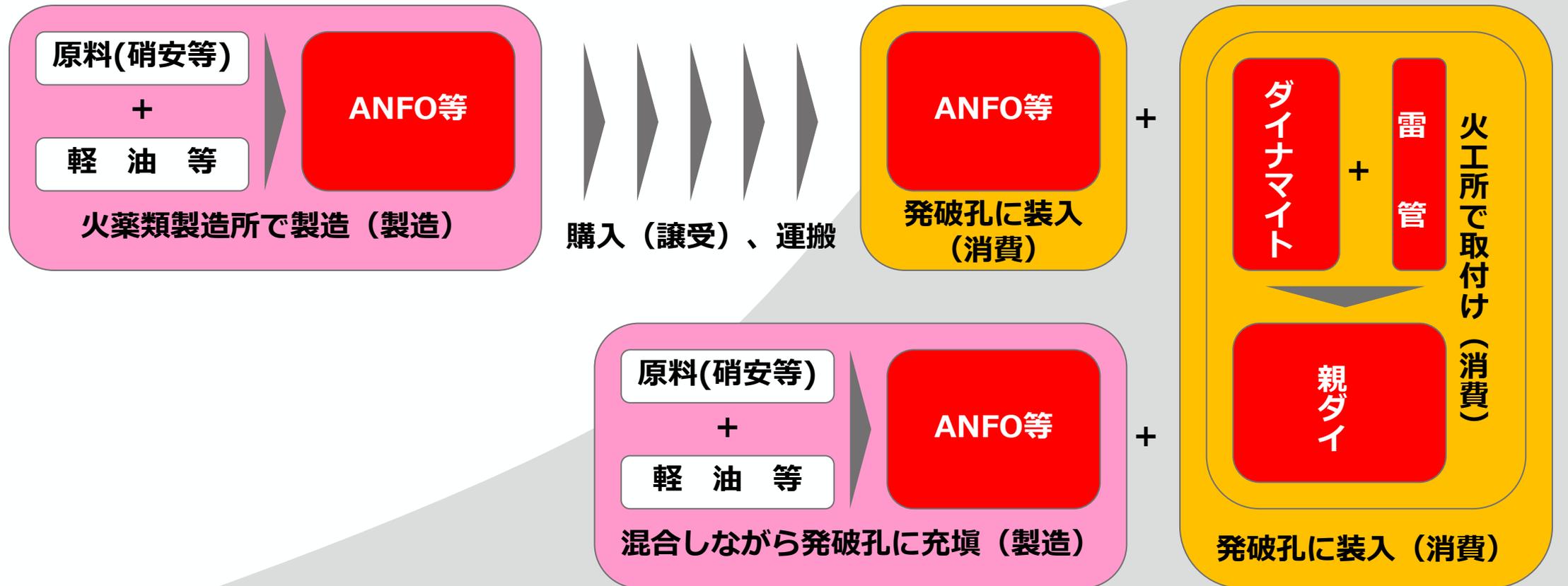


発破作業の自動化・遠隔化のロードマップ
（出所：「トンネル発破作業の自動化・遠隔化技術の現状」中間とりまとめ（案））

2. 火薬類の現場製造について

(1) 火薬類の現場製造について

- 硝安油剤爆薬（ANFO）や含水爆薬の原料を混合し、発破孔に装填する行為は、火薬類取締法第3条の「製造」に該当（購入したANFOや含水爆薬を発破孔に装填し、雷管で起爆する行為（従来型の発破等）は同法第25条の「消費」に該当。）。



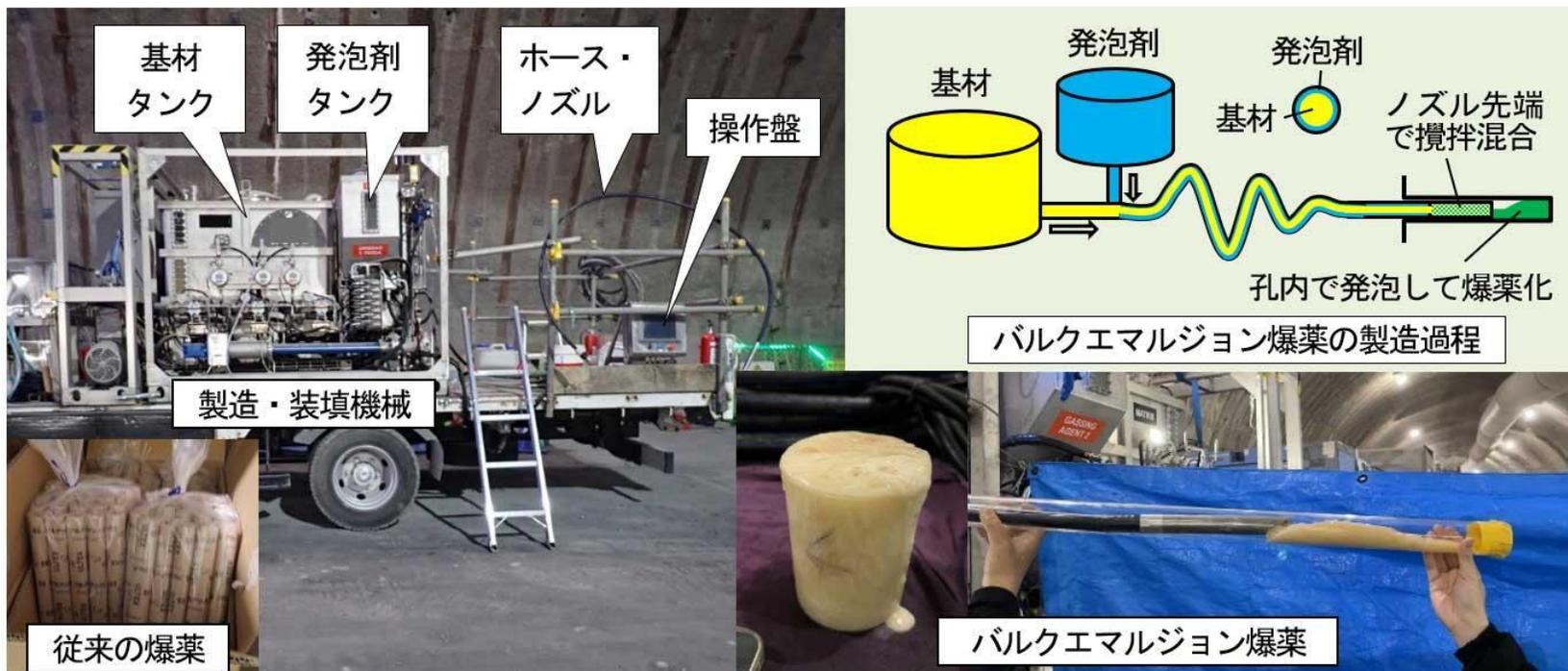
(2) 移動式製造設備について

- 平成10年の火薬類取締法施行規則（以下「施行規則」という。）改正（省令第21号）により、**移動式製造設備に係る技術上の基準及び製造方法の基準が定められた**（施行規則第4条の2及び第5条の2）。

※平成10年時点では、安定度の高い一部の硝安油剤爆薬（ANFO）のみに限定。

- 平成16年改正（省令第55号）により、**安定度の高い一部の含水爆薬の移動式製造設備による製造も解禁された。**

※施行規則上は、硝酸アンモニウムを主とする爆薬であって安定度が高いものとして経済産業大臣が定めるものを「特定硝酸アンモニウム系爆薬」として定義。）



移動式製造設備の例（写真提供：戸田建設株式会社）

(参考) 特定硝酸アンモニウム系爆薬について

- 火薬類の現場製造は、平成10年の施行規則改正（省令第21号）により、「硝酸アンモニウムを主とする爆薬であって安定度が高いものとして経済産業大臣が定めるもの」に限り認められている。
- 「硝酸アンモニウムを主とする爆薬であって安定度が高いものとして経済産業大臣が定めるもの」は、現在、「特定硝酸アンモニウム系爆薬」として、JIS K 4801（1994）に規定する「硝安油剤爆薬」とJIS K 4800（2000）に規定する「含水爆薬」のうち一定条件のものが告示されている（※含水爆薬は平成16年に追加。）。
- 「硝安油剤爆薬（Ammonium Nitrate Fuel Oil explosive : ANFO）」とは、硝酸アンモニウム94%と軽油6%からなる爆薬で、JIS K 4801に規定する起爆感度試験により電気雷管1本で起爆しないもの。他の爆薬に比べて爆力は多少劣るが、摩擦、衝撃に対する感度が低い。
- 「含水爆薬」とは、硝酸アンモニウム、硝酸ナトリウム等の硝酸塩及び過塩素酸塩、水、鋭感剤、発泡剤、可燃剤等からなる爆薬であり、水を含んでいるため、摩擦、衝撃等に対する感度が低い（硝安油剤爆薬より高い。）。含水爆薬のうち「特定硝酸アンモニウム系爆薬」となるのは、「酸化剤として過塩素酸塩又は塩素酸塩類、気泡剤としてガラス中空体、樹脂バルーン等の微小中空粒子及び金属粉等の鋭感剤を含まないもの」に限定されている。



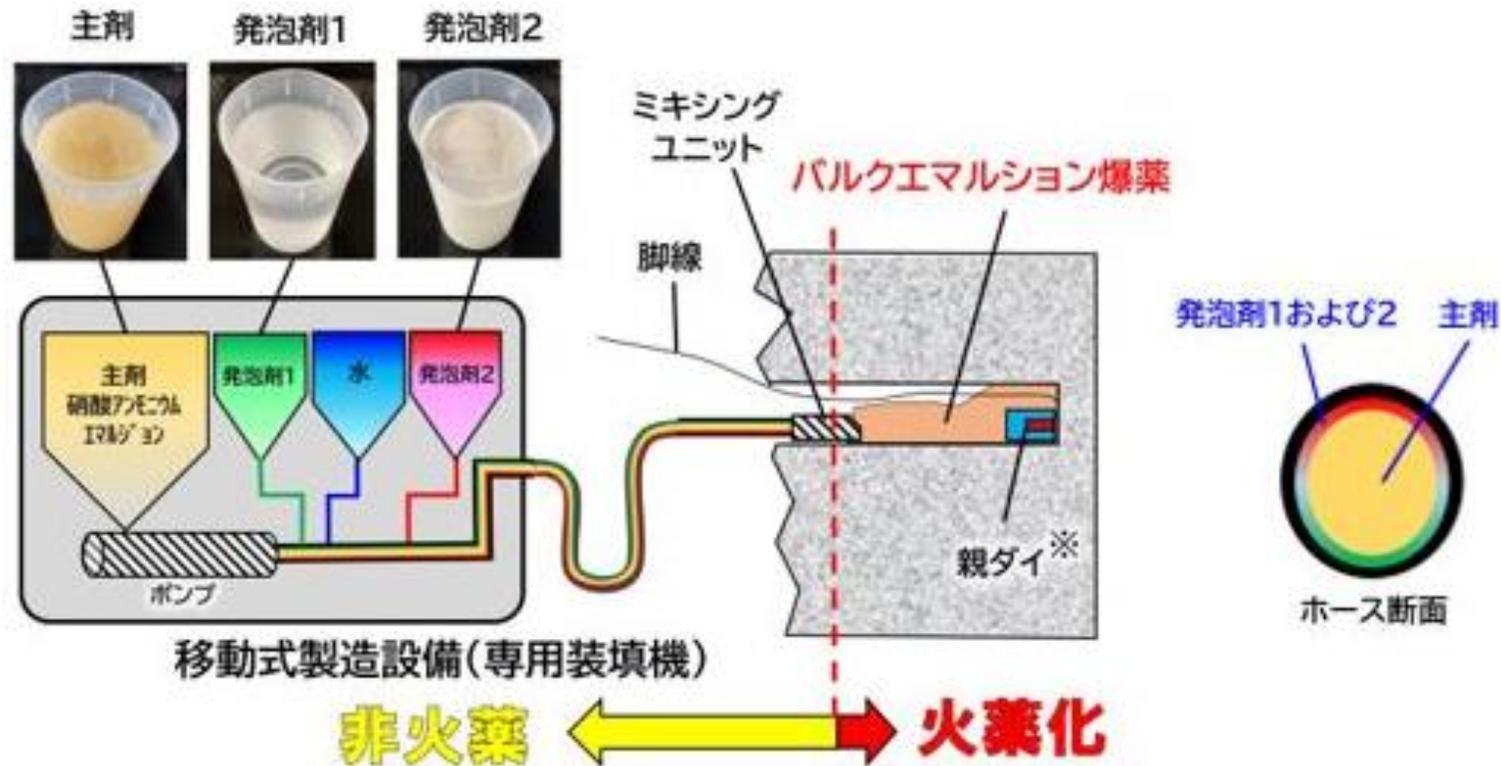
硝安油剤爆薬（写真提供：カヤク・ジャパン）



含水爆薬（写真提供：カヤク・ジャパン）

(参考) バルクエマルジョン爆薬について

- 「バルクエマルジョン爆薬」とは、含水爆薬の一種で、非火薬の原料（「硝酸アンモニウムエマルジョン（ANE）」や「発泡剤」、「水」等）を消費場所である発破孔内で混合することで初めて火薬化する爆薬のこと。発破孔の外で火薬類の取扱いがないため、従来型の発破と比較し、相対的に安全とされる。
- 主原料の「硝酸アンモニウムエマルジョン（UN3375）」は、非火薬ではあるものの、国連のクラス等級で言えば5.1（酸化性物質）に区分されている。従って、火薬類取締法の規制は受けないが、船舶での輸送においては容器や包装、積載方法等に関し規制を受ける。（航空機には積載禁止となっている。）

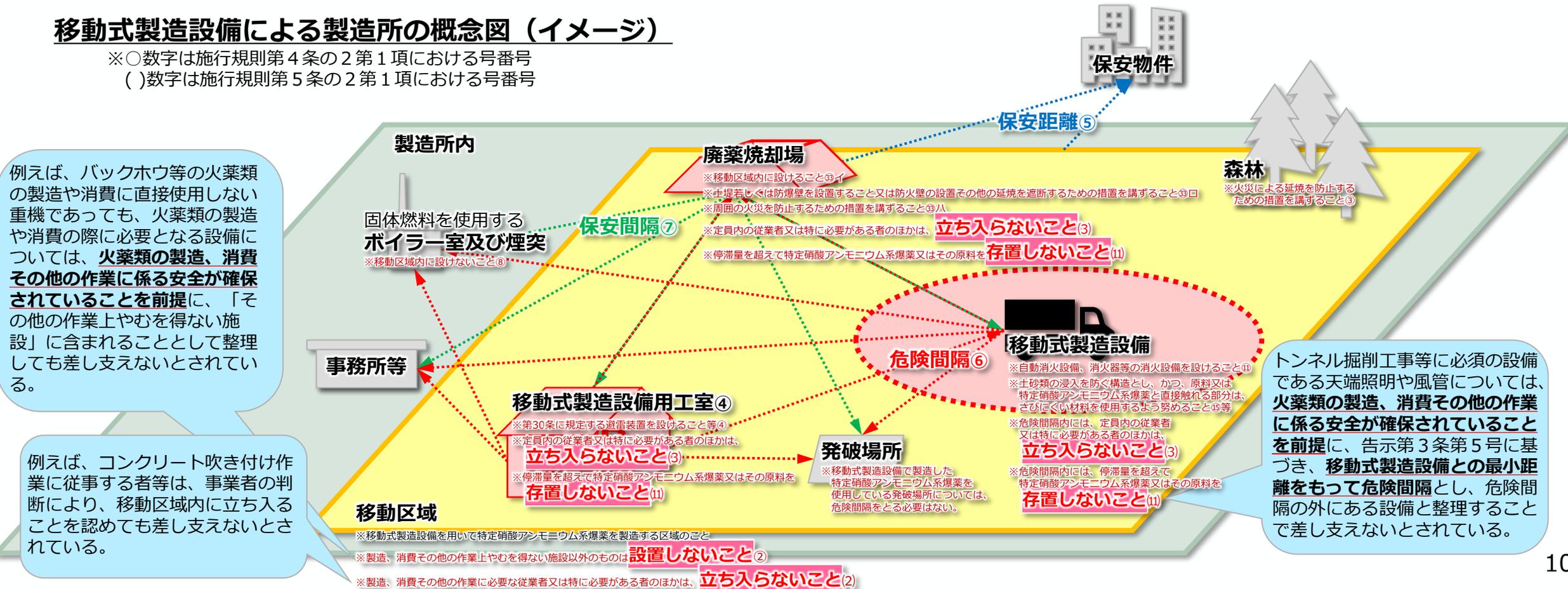


(3) 移動式製造設備に係る技術上の基準について

- 製造業者は、製造施設の構造、位置及び設備が、経済産業省令（施行規則第4条の2）で定める「**技術上の基準に適合するように維持**」し（火薬類取締法第9条第1項）、経済産業省令（施行規則第5条の2）で定める「**技術上の基準に従って火薬類を製造しなければならない**」とされている（同法第9条第2項）。

移動式製造設備による製造所の概念図（イメージ）

※○数字は施行規則第4条の2第1項における号番号
 ()数字は施行規則第5条の2第1項における号番号



(4) 火薬類製造保安責任者等の選任義務について

- 製造業者は、火薬類製造保安責任者免状を有する者（※）のうちから、「火薬類製造保安責任者」等を選任しなければならない（火薬類取締法第30条第1項）
 ※甲種火薬類製造保安責任者免状。ただし、1日に1トン未満の含水爆薬を製造する場合又は1日に7トン未満の硝安油剤爆薬を製造する場合は乙種火薬類製造保安責任者免状でも可。
- 経済産業省令で定める数量（1月に25kg）以上の火薬類を消費する者は、火薬類取扱保安責任者免状を有する者（※）のうちから、「火薬類取扱保安責任者」等を選任しなければならない。（同条第2項）
 ※甲種火薬類取扱保安責任者免状。ただし、1日に15kg以上1トン未満の含水爆薬又は硝安油剤爆薬を消費する場合は乙種火薬類取扱保安責任者免状でも可。

◆ 製造保安責任者の職務 ◆

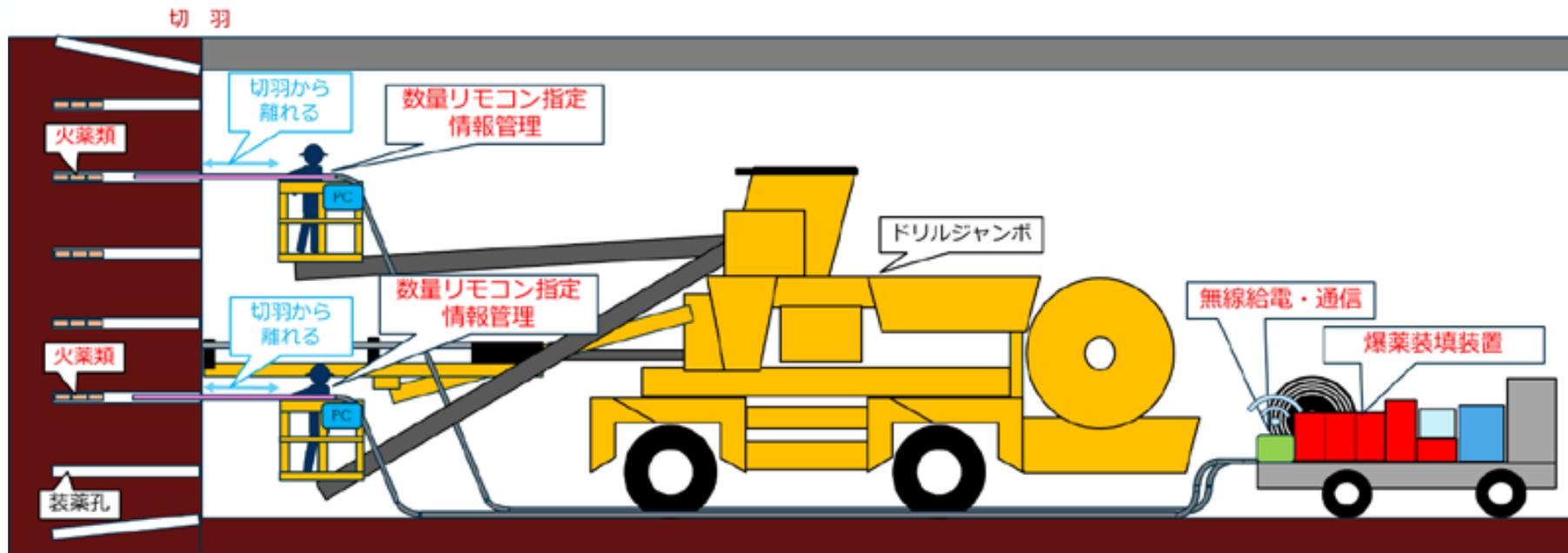
- ① 製造施設の構造、位置若しくは設備又は製造する火薬類の種類若しくは製造方法が法第10条第1項の許可（注：変更の許可）を受けないで変更されることがないように監督すること。
- ② 製造施設の構造、位置及び設備又は製造方法が法第7条第1号又は第2号の技術上の基準に適合し、又は適合して維持されるよう監督すること。
- ③ 危害予防規程が遵守されるよう監督すること。
- ④ 保安教育の実施状況を監督すること。
- ⑤ 定期自主検査を指揮し、及び監督すること。
- ⑥ 帳簿の記載及び報告の内容について監督すること。
- ⑦ 前各号に掲げるもののほか、法第23条（注：取扱者の制限）、第27条（注：廃棄）、第36条（注：安定度試験）、第37条（注：不良火薬類の措置）及び第40条（喫煙等の制限）の規定に適合するよう監督すること。
- ⑧ 危害予防規程、保安教育計画、火薬類製造副保安責任者の補佐区分、定期自主検査計画その他火薬類の製造に係る保安計画等の作成を指導すること。

試験課目	火薬類製造保安責任者			火薬類取扱保安責任者	
	甲種	乙種	丙種	甲種	乙種
（記号の凡例：◎必須、○学位等による免除あり、※甲種又は乙種火薬類製造保安責任者免状を有する者は免除）					
火薬類取締に関する法令	◎	◎	◎	※	※
火薬類製造工場保安管理技術	◎	◎			
信号焰管、信号火せん又は煙火（原料用火薬および爆薬を含む。）製造工場保安管理技術			○		
火薬類製造方法	○	○			
信号焰管、信号火せん又は煙火（原料用火薬及び爆薬を含む。）製造方法			○		
火薬類性能試験方法	○	○	○		
火薬類製造工場に必要な機械工学及び電気工学大要	○	○			
一般火薬学				※	※
一般教養課目（数学、物理学、化学、外国語（英語、独語または仏語）、国語、社会科）	○	○	○		

3. 発破等の自動化・遠隔化に資する技術について

(1) 装填設備について

- 平成16年の施行規則改正（省令第55号）により、硝安油剤爆薬又は含水爆薬（※）を発破孔に装填するための設備（装填設備）に関する基準が定められた（施行規則第53条第10号～第15号）。
※令和3年改正（省令第37号）までは「特定硝酸アンモニウム系爆薬」。以下同じ。
- また、平成24年改正（省令第39号）により、「坑内において、装填機のうち、硝安油剤爆薬又は含水爆薬を発破孔に装填するための設備を使用して硝安油剤爆薬又は含水爆薬を発破孔との間に空隙が生じないように密に装填し、発破孔の奥から起爆する場合は、発破孔に込物を使用することを要しない」こととされた（同条第9号）。



装填設備の例（写真提供：大成建設株式会社）

(2) 電子雷管について

- 「電子雷管」とは、半導体集積回路を組み込んだ電気雷管であって、電波又は電流により意図に反して爆発しないよう措置を講じたもの（施行規則第51条第4号の2）
- 電子雷管は、他の電気雷管と比べて安全性が高いことから、令和3年の施行規則改正（省令第73号）により、以下の規制緩和を実施。

※なお、令和3年改正以前から、電子雷管の導通又は抵抗試験は300mA以下の電流で行うことが可能（※電子雷管以外の場合は10mA以下の電流。火薬類取締法施行規則関係例示基準（消費）施行規則第51条第10号より）。

電気雷管を運搬する場合は、

- ① 乾電池その他電路の露出している電気器具を携行しないこと。
- ② 電波を発する機器を携行しないこと。 やむを得ず携行する場合は、当該電気雷管が爆発するおそれがないよう、当該電気雷管に対して間隔をとる等の適切な措置を講ずること。
- ③ 電灯線、動力線その他漏電のおそれがあるものにできるだけ接近しないこと。

が求められる（施行規則第51条第4号の2）。

電子雷管を運搬する場合には、それらの制限の対象外（施行規則第51条第4号の2）。

点火回路は、「点火する前に導通又は抵抗を試験し、かつ、試験は、作業者が安全な場所に退避したことを確認した後、火薬類の装填箇所から30メートル以上離れた安全な場所で実施する」必要がある（施行規則第54条第9号）。

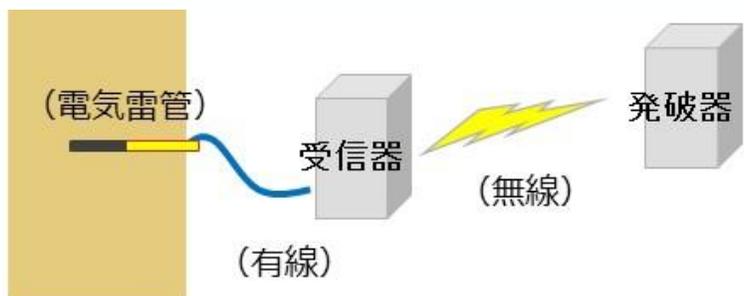
「電気雷管が爆発するおそれがない電流（※1mA以下。火薬類取締法施行規則関係例示基準（消費）より）により試験する場合」又は「電子雷管のみを使用した点火回路を点火機能のない導通試験器を用いて試験する場合」には、その例外が認められている（施行規則第54条第9号）。

(3) 無線雷管について

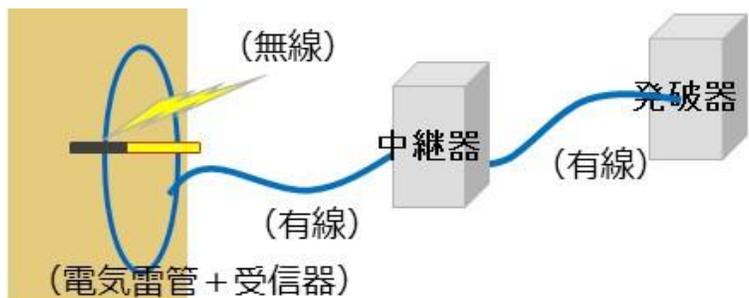
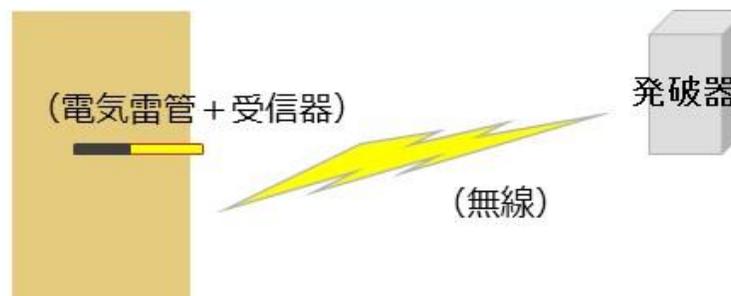
- 令和3年の施行規則改正（省令第73号）により、点火回路の全部又は一部を無線とした場合の基準として、「誤った信号を受信することにより電気雷管が意図に反して爆発しないよう措置を講ずること」が求められるようになった（施行規則第54条第10号）。

＜点火回路の一部又は全部を無線とした電気雷管のイメージ＞

①一部が無線となっているもの



②全部が無線となっているもの



(4) 装薬機械の完全機械化について

- 大成建設株式会社、株式会社熊谷組、前田建設工業株式会社などのゼネコン各社において、装薬作業の完全機械化を実現する「装薬」ユニットの開発を進めている。
- 2026年2月19日、大成建設株式会社は、山岳トンネル工事での発破作業（発破孔の「削孔」から火薬類の「装填」まで）の完全機械化を実現する「装薬」ユニットを開発したことを発表。



＜大成建設株式会社が開発した装薬ユニット＞

2026年2月19日
大成建設株式会社

大成建設株式会社（社長：相川晋郎）は、「山岳プロセスのDX」の一環として、山岳トンネル工事での発破作業の完全機械化を実現する「装薬ユニット」を開発しました。既存のドリルジャングに搭載可能な本装薬ユニットと無線電子管理対応の爆薬装填装置「T-チェックショット®」を組み合わせて使用することで、削孔の削孔から装薬までドリルジャングの運転席からオペレーター1名で連続して作業を行うことができます。これにより、作業員が切羽近傍に立ち入らなければならないため、施工の省人化だけでなく、発破面における安全性、生産性の大幅な向上が可能となります。

山岳トンネル工事の発破面では、装薬を削孔し、爆薬を装填、連続して発破する作業を繰り返しながら掘り進みます。これら一連の作業は切羽近傍に作業員が立ち入って行われてきました。そのため、土砂や岩が割れ落ちる「岩落ち」といった重大災害の発生リスクがあり、人力作業の安全確保が課題となっていました。また、作業の多くを人手に依存していることから、作業時間のばらつきや段取り替えの手間などが生産性向上の妨げとなっており、従来より多くの現場で人力作業の迅速化・効率化が求められていました。

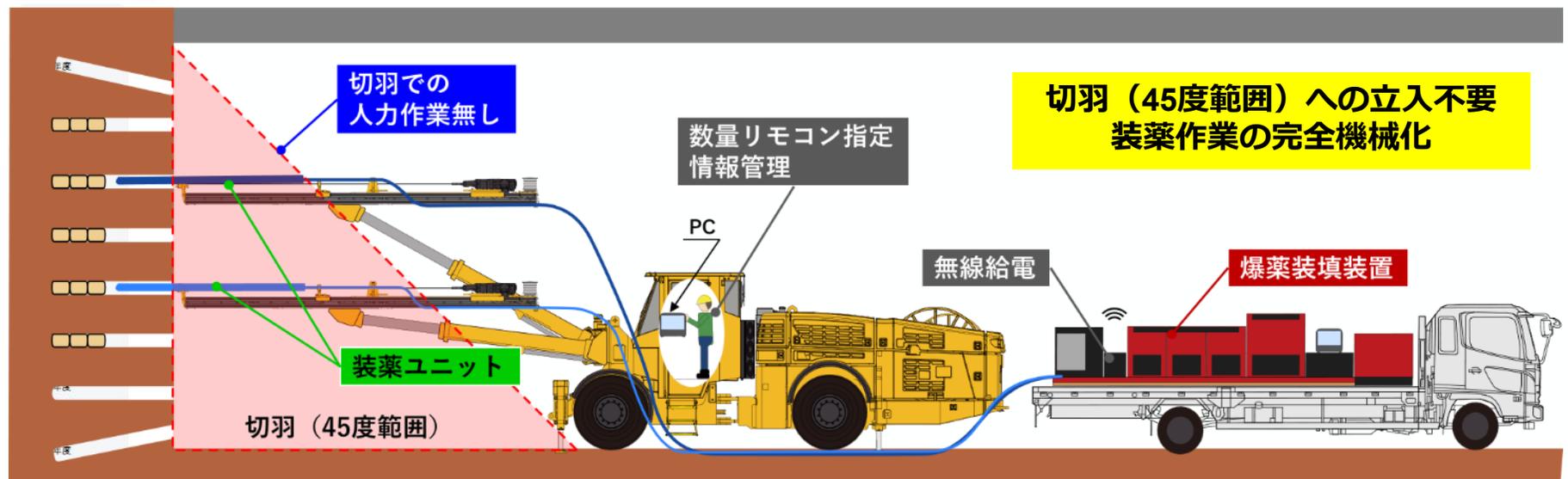
そこで当社は、切羽での装薬作業の機械化に取り組み、2023年に爆薬装填装置「T-チェックショット」を開発し、迅速な装薬による施工サイクルの効率向上を実現しました。2024年には、無線電子管理ユニット®に対応可能な仕様に機能拡張することで、親機®・増機®を連続作業なしで遠隔から同時に装填できる技術®を確立しました。

今回開発した装薬ユニットは、既存のドリルジャングに後付けでき、削孔から装薬までの作業を完全に機械化することで、一連の装薬作業をドリルジャングの運転席からオペレーター1名で連続して行うことが可能となり、安全かつ効率的な装薬作業が実現します。

当社施工の山岳トンネル工事において本装薬ユニットの実証試験を行い、あらゆる種類の装薬孔に対し一連の作業を人手に頼ることなく円滑に実施できることを確認しました。

今回開発した装薬ユニットの特長は以下のとおりです。（図1、写真1、2、3参照）

- 1) 既存ドリルジャングに後付けで容易に導入可能
本装薬ユニットは、装薬孔の中心を保持するスパイク式センタライザー、ロッドの緩ぎ直しや回収を行うロッドリフター、ホース巻取り用ホースフィーダーなどの装置で構成され、既存ドリルジャングのガイドシェルに後付けで容易に設置できます。ドリルジャング機体の特殊な改造が不要なので、掘削作業を中断することなく、円滑に現場適用することが可能となります。
- 2) 削孔から装薬まで一貫通で連続施工でき、工程短縮が可能
本装薬ユニットは、ロッドセッター等の機構を用いて装薬孔への装薬パイプの挿入を機械的に行うことができます。削孔と同様に装薬パイプを挿入するため、作業との位置合わせが必要となり、削孔から装薬までの作業を一貫通で連続施工できることから、工程の短縮につながります。
- 3) 無線電子管理との組み合わせにより作業の安全性向上と省人化を実現
本装薬ユニットは、無線電子管理対応の爆薬装填装置「T-チェックショット」と組み合わせることで、無線電子管理の活用により掘削作業が不要となることから、作業員の切羽への立ち入りが必要なくなります。これにより、削孔から装薬までの作業の完全機械化を実現し、オペレーター1名で発破作業を行えるため、施工の安全性を高めつつ、省人化が図れます。



切羽（45度範囲）への立入不要
装薬作業の完全機械化

(写真提供：大成建設株式会社)

4. 関係団体との意見交換

(1) 意見交換概要

- 火薬類取締法令に関して、発破等の自動化・遠隔化を進めるに当たっての支障となっているところ、改善すべきところ等について、関係団体との意見交換を実施。

意見交換対象団体

- 一般社団法人日本建設業連合会（2026年2月18日）
- SIP「トンネル発破等の危険作業の自動化・無人化に係る研究開発」共同研究開発機関（2026年2月19日）
意見交換参加機関：日油株式会社、一般社団法人日本建設機械施工協会施工技術総合研究所、株式会社熊谷組、大成建設株式会社、前田建設工業株式会社、事務局（国立研究開発法人土木研究所）

意見交換の論点

- バルクエマルション爆薬を現場製造するに当たって、移動式製造設備に係る技術上の基準や製造方法の基準の関連で支障となっているところ、改善すべきところはあるか。
- 現場製造したバルクエマルション爆薬を消費する際の基準の関連で支障となっているところ、改善すべきところはあるか。
- 火薬類の現場製造に必要な資格制度の関連で支障となっているところ、改善すべきところはあるか。
- 装填設備を用いた発破の関連で支障となっているところ、改善すべきところはあるか。

(2) 主な意見

技術上の基準、製造方法の基準関連

- 発破場所の直上に高圧電線や家屋があると保安距離が確保できないため、現場製造を行うことができない。
- 移動区域の設定範囲（特に移動式製造設備の後方）をどこまでにするかが悩ましい。

資格制度関連

- 製造保安責任者試験は工場では火薬類を製造するために必要な知識を求めているため非常に難しく、現場製造だけではそこまでの知識は必要ないのではないか。
- 甲種・乙種以外の新しい区分を設けることはできないか。
- 製造保安責任者免状を保有していなくても、例えば、取扱保安責任者免状を保有する者に講習を義務付けて、製造保安責任者とするのはどうか。
- 製造保安責任者を確保出来ても、製造保安責任者と代理者とで2人も有資格者を確保するのは困難。

消費基準関連

- 削孔部分は火薬類取締法の範疇ではないため（労働安全衛生法）、削孔から雷管、爆薬の装填まで連続した作業として自動化する場合には、両者の境目部分において、規制が十分ではない可能性がある。
- 機械の誤動作などに対して、装填作業を機械化する際の安全対策に関する規制が必要ではないか。
- 無線雷管や爆薬装填装置の実施例を例示基準に掲載してはどうか。