

トンネル工事における切羽近傍事故を受けての再発防止事例

東北地方整備局企画部技術管理課 課長補佐 いしもり たけひろ
石森 武博

1. はじめに

東北地方整備局においては従来より工事事故の防止に努めているところですが、平成15年度の直轄工事における工事事故発生件数は92件を数え、1名が亡くなるという残念な結果となっています(図1参照)。

もちろん工事事故を全くなくすということは困難ですが、いづらかでもそれに近づけるべく、なお一層の安全対策への取り組みが求められています。

また、万一事故が起きてしまった場合でも、再発防止の観点でとるべき有効な対策を検討し実施

することによって、着実な工事事故の減少を図ることが重要になります。

ここでは、発生した事故を教訓に、創意工夫により同様な事故の再発防止を図った事例を紹介します。

2. トンネル掘削中の落盤死亡事故

(1) 工事概要

トンネル延長2,944m 内空断面積66.7m²

(2) 事故の概要

被災者はトンネル掘進中の切羽において、作業用ケージ(作業架台)に乗って爆薬装填作業中に浮き石を除去するため、込め棒で「こそく作業」*

図1 管内の工事事故発生推移

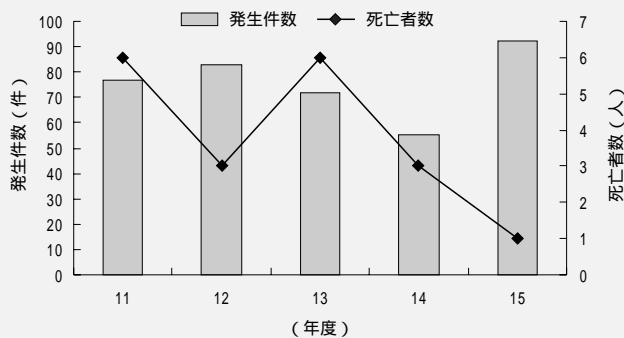
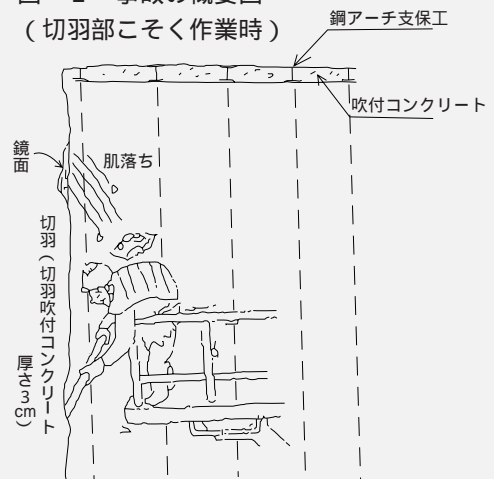


図2 事故の概要図

(切羽部こそく作業時)



をしていた。その際、肌落ちした岩石が被災者の背中に当たり、作業用ケージの手摺りに胸部および腹部を強打し、出血性ショックにより約8時間後に死亡。

(3) 事故の要因

要因としては、ケージから身を乗り出してこそく作業をしていたことおよびこそく作業状況が切羽監視人から見づかったこと等が挙げられました。

(4) 対応策

上記要因から以下の対策が導き出されました。

- ① 切羽付近作業時の安全確保に関する教育の徹底。
- ② 切羽監視人の他にケージ内切羽監視人の追加。
- ③ 作業用ケージに防護バー（鉄格子状の屋根）を取り付け、上部からの落石に対して作業員の安全を確保。

3. 技術開発による根本的な対応策

しかし、そもそも切羽付近での作業は、崩壊発生の可能性も高く危険が伴うものです。前述の対策は、あくまでも今回の事故の要因を考慮して挙げられたものであるため、これらにより切羽付近での作業全般の安全が確保されるというものではありません。

実際、他の現場でも切羽付近の落石等による同様の事故が発生しており、根本的な解決策の策定はなかなか難しいものとなっています。

そこで、切羽付近での作業時間が長く最も危険な作業とされる爆薬装填作業を遠隔操作化し、できる限り切羽に近づかないようにすることによって安全性を格段に向上させるため、積極的な創意工夫により「爆薬遠隔装填システム」の開発が行われました。

4. 爆薬遠隔装填システムの開発

(1) 開発条件

トンネル掘削における爆薬の遠隔装填は従来から開発、試作の実績はありましたが、なかなか実用化までには至りませんでした。そこには障害として、火薬という危険物を扱うことに起因する各種規制やそれを機械で扱うことに関する信頼性の問題、また、爆薬その他装填材料の特注品化の困難さ、そして果たして全体の作業効率が向上するのか等がありました。

それらを解決するかたちで開発された「爆薬遠隔装填システム」について簡単にご紹介します。

(2) システムの構成

爆薬遠隔装填システムは、爆薬供給・タンピング材^{*}供給・装填機の各装置を組み込んだシステム本体と、装填ホース・装填パイプ、手元スイッチからなっています。なお、爆薬を送る動力は圧縮空気、制御信号は電気ではなく光信号（光ファイバー）として、爆薬を機械で取り扱うことに関しての安全性に万全を期しています。また、本装置はこれらのシステムを2セット一体としたシステムで構成されています(図3 写真1参照)。

図 3 システムの全体概念図

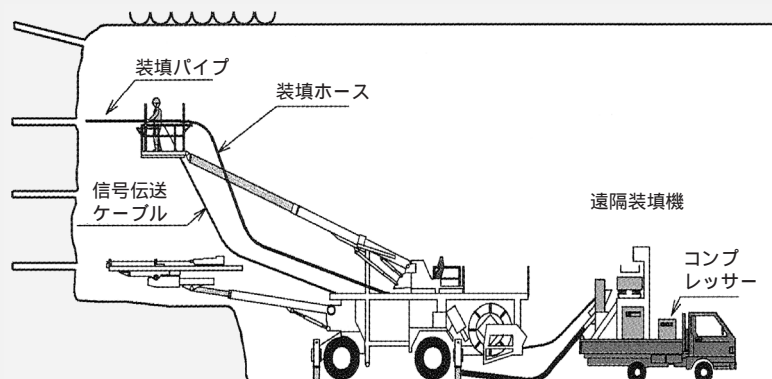
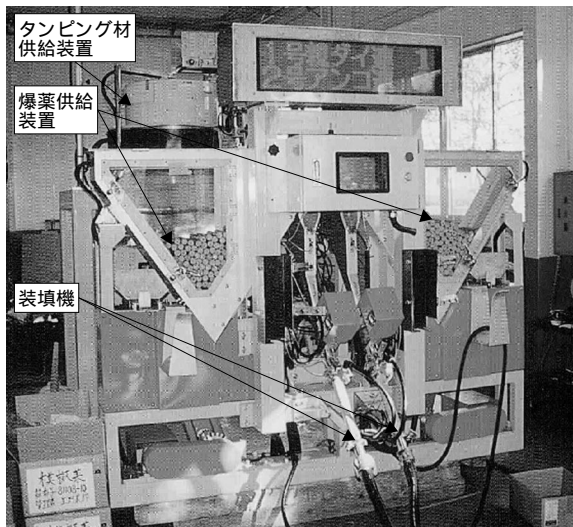


写真 1 遠隔装填機本体



① 爆薬供給装置

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、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ます。

② タンピング材供給装置

粘土製のタンピング材を、フィーダに投入し、ホッパー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ます。

③ 装填機

各供給装置より供給された爆薬・タンピング材を、圧縮空気により装填ホースおよびパイプを通して装薬孔に送り出す装置です。

④ 装填ホースおよび装填パイプ

装填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ます。

また、ホース先端には絶縁性および剛性が高く、しかも軽量のCFRP（炭素繊維強化プラスチック）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ます。

⑤ 手元スイッチ

作業者は、光ファイバー式リモコンスイッチにより、親ダイ^{*3}・増ダイ・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ます。

⑥ 孔清掃装置

装填孔は通常の削岩機で削孔された孔を使用しますが、遠隔装置では離れたところから装填孔にパイプを挿入するため、従来に増して孔内を障害物のない良好な状態に保つ必要があります。そこでここでは、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み合わせた新方式の遠隔孔清掃装置を同時に開発しています。

(3) 施工法

本システムによる爆薬の装填作業は、図4のような手順で行います。本システムにより、削孔からすべてを切羽から離れての作業が可能となりました。

(4) システムによる効率化

本システムの採用により、切羽付近での作業の安全性の向上だけでなく、他の面にも効率化となって現れています。

① 発破効果の向上

従来の込め棒で充填している方法に対し、本方

図 4 切羽での爆薬装填作業フロー

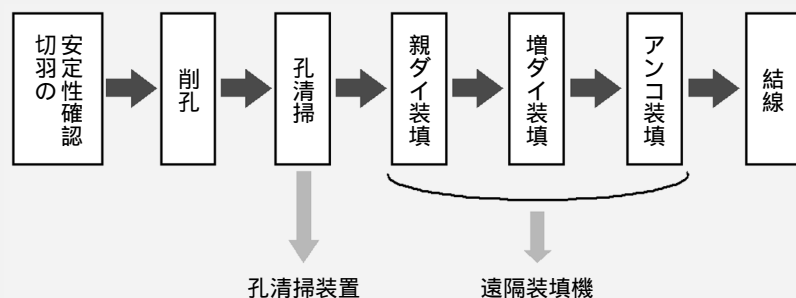
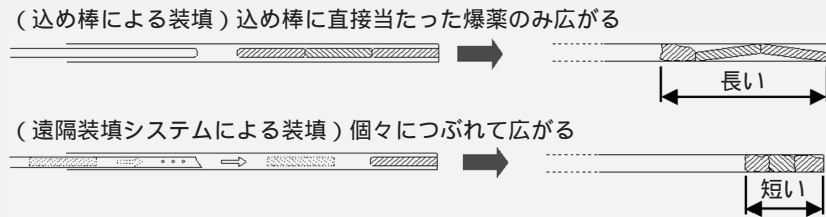


図 5 孔内での充填
状況模式図



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り込まれ、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密装填できることにより、結果として発破効果の向上にもつながりました(図 5 参照)。

② 作業内容の改善

人力による装填作業は各孔に対し、爆薬・タンピング材を挿入し、詰め棒で突いて充填する作業の単純な繰り返しとなり、作業姿勢・環境も時には無理な場合もあるため、かなり苦渋性の高い作業となっていました。本システムの採用により

かなり改善する結果となりました(写真 2, 3 参照)。

5. さいごに

本システムの開発・実用化により、トンネル掘削における爆薬装填作業の安全性が向上し、あわせて他の面でも効率化が図られました。さらに、従来から人力中心が当たり前だと考えられてきたトンネル施工に対する意識改革にもなりました。

また、今回ご紹介した再発防止対策事例は、事故を契機としていますが、その事故のみならず、潜在的な危険を考慮し、その工程について飛躍的に安全性を向上させる対策にまで発展させた事例となっています。

このような取り組みが図られてこそ、工事事故の撲滅につながるものであり、国を含めて関係者は事故を教訓として、当該事故のみならず関連作業全般を考慮した広い観点で対策を検討し、それがたとえ細かいことであっても確実に実施する努力が大切です。

写真 2 人力による装填作業



写真 3 実現した遠隔装填作業



(用語解説)

* 1 こそく作業

爆破による掘削面の浮き石や付着している石膏などをこすり取ること。

* 2 タンピング材

穿孔した孔に爆薬を装填した後、残った部分に詰める砂や粘土。アンコともいう。

* 3 親ダイ

起爆のための雷管を取り付けたダイナマイト(薬包)のこと。親ダイナマイトの略称で親ダイ以外のダイナマイトを増ダイといい、親ダイは増ダイを殉爆させる。