

爆薬装填装置「T-クイックショット」の開発 その1

大成建設（株）土木技術部トンネル技術室 正会員 ○松田 一輝
宮本 真吾

1. はじめに

山岳トンネル工事における発破掘削作業では、直角に切り立った切羽近傍で人力による爆薬の装填作業が行われている



図-1 人力による装薬状況

（図-1）. この作業は切羽作業の中でも最も切羽滞在時間が長く、必然的に肌落ちによる労働災害のリスクも高い. このような切羽近傍での人力作業の完全機械化を目指して筆者らは爆薬装填作業の完全自動化を目指し開発を進めている. 本稿では2021～22年にかけて完全自動化の要素技術として開発した爆薬装填装置「T-クイックショット」について、装置開発にあたって実施した基本試験の内容について述べる.

2. 開発基本方針

2. 1. 既存の遠隔装填システム

爆薬を切羽から離れた位置から安全に装填する技術として、火薬メーカーを中心に技術が開発されている. また、爆薬中間体に気泡剤を添加し装薬孔の中で爆薬とするサイトミキシング型の装填システムも海外を中心に使用されている. 前者には紙巻含水爆薬を使用するものと、粒状爆薬（ANFO 爆薬など）使用するタイプがあるが、紙巻含水爆薬を使用するものは、装填パイプの直前で爆薬をパイプ内に仕込む必要があり、切羽近傍での作業量の低減が図れない点が課題となり普及が進んでいない. また粒状爆薬では特に ANFO 爆薬について耐水性や後ガスの問題から使用範囲が限定されることが問題となっている. さらに後者のサイトミキシング型の装填システムは日本国内では法律上火薬類の製造行為に該当するため、製造保安責任者を昼夜にわたり常駐させる必要があることを理由に普及していない.

2. 2. 使用爆薬と装填方法

将来的な爆薬装填作業の完全自動化を目指す上では

汎用性が高く調達可能な爆薬を使用することが重要である. また開発最終目標は完全自動化ではあるものの遠隔・半自動・全自動など機能の拡張性を持たせることでトンネル現場のニーズに合わせて幅広く活用され普及していく技術が望ましく、遠隔装填段階から広く使用される作業性の高い効率的な装置が求められる.

以上より、使用爆薬は現場条件に左右されず汎用性が高い紙巻含水爆薬を使用することとし、装薬する作業員の省力化が達成できるよう、手元で爆薬（増しダイ）を取り扱わない後方圧送型を採用し、将来的に親ダイの雷管が無線化された際にも装填する火薬類全て（親ダイ・増ダイ）を装置から圧送できるような仕様とした.

3. 基本試験

紙巻含水爆薬の後方圧送方式を選定したことから、安定して閉塞することなく爆薬を装薬孔に装填する圧送諸元を決定する必要がある. また、火薬類取締施行規則の一部改正¹⁾により明記された、密装填時の込物不要に準じるべく装填状況の確認試験も行った. なお、試験には昨年報告²⁾の実験時に使用した機器と、導電性ホース（ジャンボ後方～切羽までの延長 $L=30\text{m}$, 内径 38mm ）及び導電性カーボンパイプ（ $L=2\text{m}$, 内径 32mm ）を使用して、模擬紙巻含水爆薬（ $L=255\text{mm}$, $\Phi 30\text{mm}$ ）を圧送した. 以下実施した試験内容を表に示す.

表 1. 爆薬圧送基本試験種別

試験種別	目的
1. 圧送空気圧別爆薬圧縮率試験	密装填を確保できる適切な空気圧力の決定
2. 静電気測定試験	圧送時に発生する静電気の発生状況と安全性の確認
3. 距離別衝突圧力試験	孔尻からの距離別に親ダイの雷管に生じる衝突圧力安全性確認
4. 圧送障害確認試験	圧送中の障害（ホースの曲がり）に対する圧送性の確認

3. 1. 圧送空気圧別爆薬圧縮率試験

適切な圧送空気圧力試験を決定する試験を行った. 圧力は $0.3\text{MPa} \sim 0.5\text{MPa}$ （ 0.6MPa の潤滑水併用）まで試験し、爆薬 3 本について圧送性・圧縮性を確認した.

3. 2. 静電気測定試験

爆薬を圧送する際に生じる静電気測定を装薬孔直前

キーワード 山岳トンネル,爆薬,遠隔装填,切羽

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 大成建設(株)土木本部土木技術部トンネル技術室 TEL03-5381-5271

で行った. なお, ホース・パイプともに導電性を有した素材を用いており, 圧送時には水も圧送するが, 本実験では水のない危険状態を想定して測定を行った.

3. 3. 距離別衝突圧力試験

装薬孔の最も奥に配置される親ダイには雷管が設置されている. パイプ挿入長, つまり孔尻からの距離別に圧送時に雷管に作用する圧力を調査することにより, 雷管の暴発安全性を確認した. 測定には孔尻にロードセルを配置して衝突時の荷重を測定した.

3. 3. 圧送障害確認試験

ホースが 30m と長いことからその中途に曲がりなどの障害があった場合の圧送性を確認した.

4. 試験結果と考察

4. 1. 圧送空気圧別爆薬圧縮率試験

表-2 の結果に示す通り, 0.3MPa の圧力では圧送できず, 0.4MPa 以上の圧力で圧送が可能で



図-2 圧縮された含水爆薬

あったが, 0.5MPa の方がより密に装填が可能で, 約 30% の圧縮率を示したため圧送空気圧を 0.5MPa に確定した.

表-2 空気圧別爆薬圧縮率

空気圧力 (MPa)	圧送 本数	水圧 (MPa)	圧送後爆薬長 (mm)	圧縮率 (%)	平均圧縮率 (%)	備考
0.3	3	0.6	-	-		圧送不可
0.4			580	24.2	22.9	
			590	22.9		
			600	21.6		
0.5			540	29.4	29.6	
			510	33.3		
			565	26.1		

4. 2. 静電気測定試験

表-3 の通り検出された静電気は非常に小さく, 電気雷管の JIS K 4806 : 2020 に定められた 8KV に対して十分に安全であることを確認した. なお水を同時に流した場合も測定を行ったが, 静電気は検出されなかった.



図-3 静電気測定

4. 3. 距離別衝突圧力試験

表-3 静電気測定結果

No.	空気圧力 (MPa)	模擬爆薬		合計 (本)	静電気計測 KV	備考
		親ダイ (本)	増ダイ (本)			
1	0.5	1	1	2	0.01	適正圧力
2		1	2	3	0.03	
3		1	3	4	0.06	

表-4 に結果を示す. 孔尻からの距離の変化に伴う圧

力分布に線形関係は見られなかったが, 圧力は約 10~20kgf/cm² となり, 従来の



図-4 爆薬圧送状況

手装填時の衝撃圧力である 15~35kgf/cm² の範囲に収まっていることから, 空気圧送方式による雷管の暴発リスクは低いことを確認した. なお, 実際の装填では爆薬を確実に装填する (パイプ内に残らない) ことと, 孔曲がり時の中途閉塞防止の観点から孔尻から 1.0m 程度までパイプを差し込んで圧送するのが望ましい. また装薬孔内部の脚線擦れ防止の観点から親ダイ頭部の脚線折返し部には擦れ防止措置が必須である.

表-4 距離別衝突圧力試験

No.	空気圧力 (MPa)	爆薬 本数 (本)	孔尻まで 距離 (mm)	衝突圧力	
				(KN)	kgf/cm ²
1	0.5	3	1700	0.648	9.3
2		3	1400	0.773	11.1
3		3	1100	1.383	19.9
4		3	800	0.699	10.1
5		3	500	1.057	15.2

4. 4. 圧送障害確認試験

図-5 に示すように, 圧送ホースの中途に曲がりを受けて圧送性を確認した. 結果として半径 R300mm 程度まで圧送できたが, 運用上は折曲がりが生じないように, パイプ接続部等には曲がり防止養生が必須であると考え.



図-5 ホース曲げ圧送状況

5. まとめ

爆薬の装填装置の仕様を確定するための各種基本試験を行い, 爆薬を安全に装填出来る装置として, その安全性を各種基準に照らし合わせて客観的に検証することができた.

参考文献

- 1) 経済産業省, 火薬類取締法施工規則の一部を改正する省令等について (R3. 10. 15), 第 53 条 1 項 9 号
- 2) 上原結弦, 宮本真吾ら「爆薬装填装置の開発における模擬爆薬の圧送試験」, R4 第 77 回年次学術講演会, VI-283
- 3) 全国火薬類保安協会, 火薬類技術基準作成審議報告書, 昭和 60 年 3 月, p8