

爆薬の機械装填システム

中村 聡 磯・田口 琢也・松岡 秀之

爆薬の機械装填システムでは、装填作業を装填パイプまたは装填ホースで行うため、作業者は切羽から離れて作業を行うことができ、装薬作業における安全性を向上させることができる。

トンネル発破での爆薬の機械装填システムは、現在までに数種類の方法が開発されてきた。ここでは、粒状の含水爆薬、紙巻包装の含水爆薬及びANFO爆薬を使用する機械装填システムの特徴とその概要について述べる。

キーワード：発破、装填作業、機械装填、含水爆薬、ANFO爆薬

1. はじめに

トンネル掘削工事では、さまざまな技術導入により機械化が進んでいるが、発破の装薬作業では紙巻包装の含水爆薬やダイナマイト、電気雷管を使用し、込め棒で手装填する人力装填がほとんどである。

手装填による人力装填では、切羽に近接して作業を行うため、天盤からの肌落ち、落石等に巻き込まれる危険性が高い。これに対して機械装填システムでは、爆薬の装填を装填パイプまたは装填ホースで行うため、作業者は切羽から離れて作業を行うことができ、切羽密着時間を短縮することができる。手作業による装薬と異なり周囲の状況を確認しながら作業を行うことができるので、装薬作業における安全性を向上させることができる。また、図-1に示すように機械装填によって、突き押し、踏まえ部分でのしゃがみこみ等作業がなくなるため、作業者の負担が軽減される。

図-2に爆薬を薬包タイプとバルクタイプに分類した機械装填システムの系統図を示す。

国内では、十数年前から導火管付き雷管との組み合わせによるANFO爆薬の機械装填システムが行わ

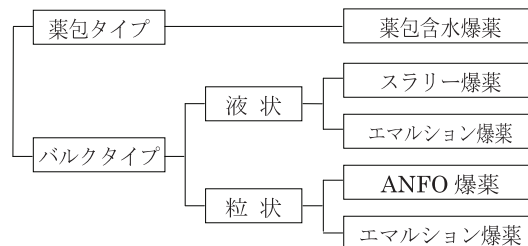


図-2 爆薬の機械装填システムの系統図

れている。ANFO爆薬は安価で取扱も容易であるが、耐水性がないため水孔に装填できない、後ガスが悪い等の問題がある。これらの問題を解決するため、図-3に示す高粘度液状（マヨネーズ状）のエマルジョン爆薬やスラリー爆薬の機械装填システムが開発されたが、装填性や作業性の問題で普及するには至らなかった。その後、紙巻包装の含水爆薬や粒状の含水爆薬の装填システムが開発され、現在に至っている。

海外ではANFO爆薬の他に、現場混合によるエマルジョン爆薬を使用した機械装填システムが使用されている。これは、非火薬の中間体原料と発泡剤を装填機で混合しながら発破孔に装填するシステムで、発泡



人力装填

機械装填

図-1 装填状況

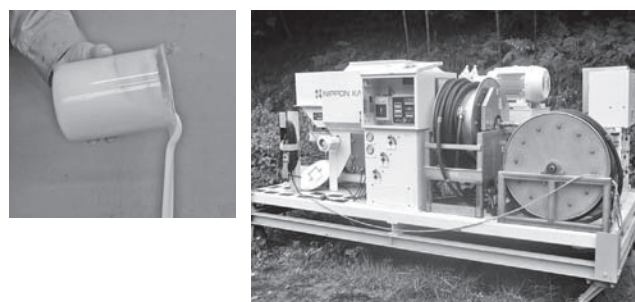


図-3 液状エマルジョン爆薬と装填機

剤の発泡によって中間体原料が発破孔内で鋭感化し、爆発性を有するようになる。国内では中間体原料が火薬類に分類されることや火薬類製造保安責任者が必要なこと等から海外で使用されるような経済性、効率性が得られないため導入されるまでに至っていない。

2. ランデックス機械装填システム

(1) 特徴と概要

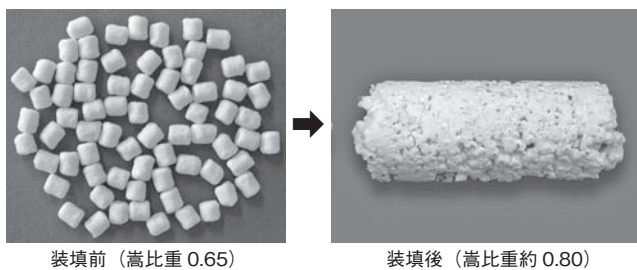
ランデックス機械装填システムは、粒状の含水爆薬（ランデックス）をエアによって装填するシステムである。

ランデックスは、含水爆薬の持つ良好な爆轟性能、耐水性、後ガス等の長所を有しながら、ANFO爆薬のような簡便なエアローダーでの装填を可能とすることを目的に開発された爆薬で、直径約4mm、長さ4～6mm、嵩比重0.6～0.7の粒状爆薬である。

表一 1 ランデックスの性能

比 重	0.6～0.7 (嵩比重) 0.7～0.9 (装填比重)
耐 水 性	優 良
爆轟速度	3,500～4,500 m/s
弾動振子	66～72 mm
後 ガ ス	最優良
落つい感度	8 級
BAM 式摩擦感度	7 級

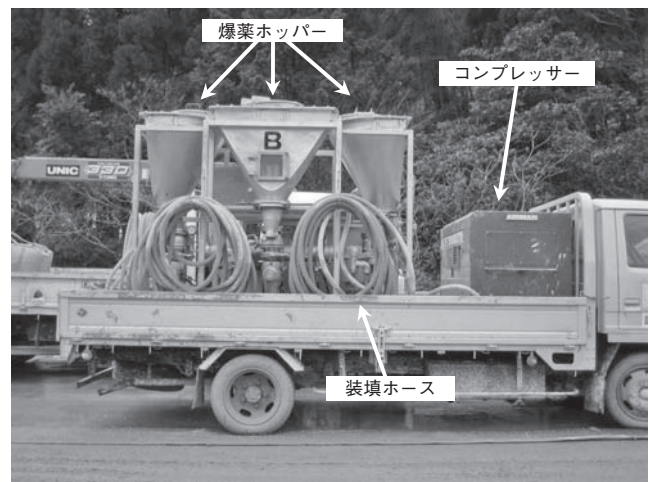
ランデックスは装填時のエアにより発破孔内では爆薬が圧縮され、図一 4 の右に示すように密装填に近い状態になる。発破孔に密装填されることで発破効果が向上し、発破孔数が削減でき、穿孔時間等の穿孔コストの低減が期待できる。また、後ガスが良好で耐水性があるので、踏まえ孔などの水孔への装薬が可能である。また、発破孔内で圧縮され、つぶされるので、ある程度の角度の上向き孔への装薬も可能である。



図一 4 ランデックス

従来の装填機は1台当り2ホースであるが、ランデックス用装填機には3本のホースがあり、通常はマングージで2本、切羽下部で1本のホースを使用して

装填作業を行い、従来の装填機に比べ装填作業の効率が向上している。装填は装填パイプで行い、操作は無線リモコンで行う。リモコンには4つの装薬ボタンとブロー用のボタンがあり、各装薬ボタンの薬量は、切羽の状況に応じて任意に設定することができるので、穿孔長に合わせた装薬を選択することが可能である。装薬量は、タイマー方式と異なりロータリーバルブ（200g単位）で計量して爆薬を送り出すシステムで、精度よく装薬を行うことができる。また、装薬終了後の爆薬ホッパー内の残火薬は、爆薬排出口から容易に抜き取ることができる構造になっている。



図一 5 ランデックス用装填機

表一 2 ランデックス用装填機の概要

本 体	W:1,450mm×L:2,500mm×H:2,137mm
爆薬ホッパー	非圧力容器 容量：70kg×3 タンク=210kg
装填ホース	内径25mm×外径32mm×長さ25m 又は内径19mm×外径25mm×長さ25m
装填パイプ	内径25mm×外径29mm×長さ2～3m
使用爆薬	ランデックス（10kg×2袋/箱）
重 量	900kg
所要電力	バッテリー（24V、装填機に付属）
装填機の動力	空気圧 （圧力=0.7MPa、容量=5.0m ³ /min）
操作方法	無線リモコンによる遠隔操作
必要機材等	上記規格のコンプレッサー 台車：2t ロング又は4t トラック （装填機とコンプレッサーを搭載） 計量用の重量計が必要

ランデックス機械装填システムでは、導火管付き雷管を使用する。導火管付き雷管は、チューブ内に微量の爆薬が塗布されており、チューブの一端を起爆すると約2,000m/sの速度で爆ごう波を伝達する。電気を用いて起爆する方式ではないので、静電気や漏洩電流等に対して安全性が高い。また、結線はチューブを束

ねる方式で、結線時間を短縮することができる。



図一六 リモコンスイッチ

装薬手順を以下に示す。

- ①リモコンの電源を入れる。
- ②親ダイを装薬孔に配置する。
- ③装填パイプで、親ダイを孔尻まで押し込む。
- ④孔尻より、装填ホースを約 20～50 cm 手前に引く。
水がある場合はブローボタンを押して排水する。
- ⑤任意の装薬ボタン「1～4」を押すと装薬が開始される。自然に装填ホースを引きながら装薬を行い、所定の量が排出されると自動停止する。

(2) 実施例

ランデックス機械装填システムは、試験発破も含め現在までに 28 現場で使用された。

表一三 ランデックス使用実績 (原単位は平均)

	Aトンネル	Bトンネル
断面積	約 77 m ²	約 76 m ²
掘削パターン	D I, C II, C I (C I 主体)	D I, C II, C I (D I 主体)
使用延長	約 1,010 m	約 1,860 m
孔数原単位	1.3 孔/m ²	0.8 孔/m ²
爆薬原単位	1.2 kg/m ³	0.5 kg/m ³

3. アルテックス SS 機械装填システム

(1) 特徴と概要

アルテックス SS 機械装填システムは、通常人力装填で使用されている薬包タイプの含水爆薬と粘土込物を自動で装填するシステムである。

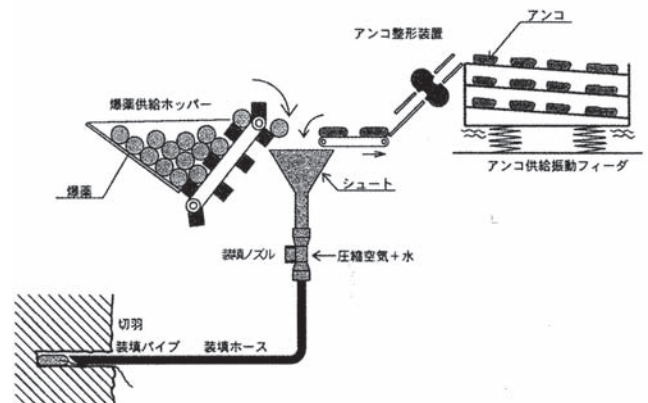
使用する爆薬はアルテックス SS (φ 25 mm × 100 g) で、後ガスが良好で水孔への装薬が可能である。

装填は装填パイプで行い、操作は無線リモコンで行う。無線リモコンで、装薬する爆薬本数を 1 本 (= 100 g) 単位で自由に設定することができるので、穿

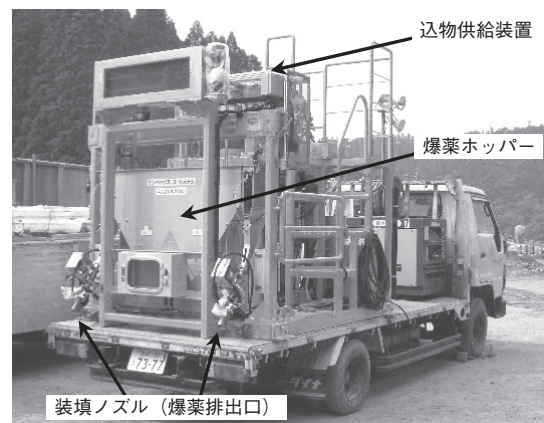
孔長に合わせた装薬量を選択することが可能である。また、爆薬をエア圧送する際に、少量の水を強制的に注入させて静電気の発生を防止するため、電気雷管を使用することができる。

表一四 アルテックス SS の性能

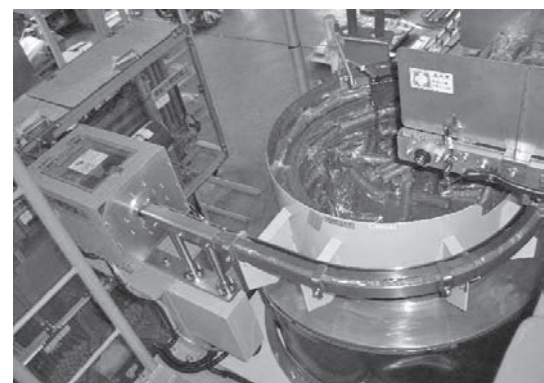
比重	1.15～1.23
耐水性	優良
爆轟速度	5,800～6,000 m/s
弾動振子	78～84 mm
後ガス	最優良
落つい感度	8 級
BAM 式摩擦感度	7 級



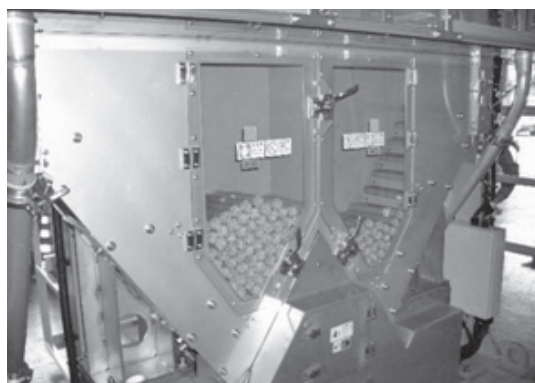
図一七 アルテックス SS システム概念図



図一八 アルテックス SS 用装填機



図一九 込物供給装置



図—10 爆薬ホッパー

装薬手順を以下に示す。

- ①リモコンの電源を入れる。
- ②親ダイを装填パイプの先端に装着し、装填パイプを孔尻まで押し込み、リモコンの「親」ボタンを押して親ダイを装填する。
- ③孔尻より、装填ホースを約20～50cm手前に引く。装薬孔に水がある場合は、「強制」ボタンを押してブローし、排水する。
- ④リモコンで装填本数を入力し、「連発」ボタンを押して増ダイを装填する。 ※前回と同じ装薬本数の場合は、装填本数の入力が必要なし
- ⑤「アンコ」ボタンを押すと、込物（4本）が自動的に発破孔に装填される。

表—5 アルテックス SS システムの概要

本 体	W:1,836mm×L:2,660mm×H:2,361mm (防水用屋根は含まず)
ホースリール	外径 1,600mm (1,400mm) 幅 242mm (大小 2ヶあり)
装填ホース	内径 28mm×外径 37mm×長さ 30m
装填パイプ	内径 28mm と内径 30mm の組合せ 長さ 2.3m
使用爆薬	アルテックス SS φ25mm×100g (20kg/箱)
使用込物	機械装填用 φ26×100L
重 量	1,500kg
所要電力	200V 30A (ジャンボより取得)
装填機の動力	空気圧 (圧力=0.5MPa, 容量=2.0m ³ /min)
操作方法	無線リモコンによる遠隔操作
必要機材等	上記規格のコンプレッサー 台車：4tトラック (装填機とコンプレッサーを搭載)

(2) 実施例

アルテックス SS 機械装填システムは、試験発破も含め現在までに 15 現場で使用された。

表—6 アルテックス SS 使用実績 (原単位は平均)

	Cトンネル	Dトンネル
断 面 積	約 76 m ²	約 87 m ²
掘削パターン	CII, CI	CI, B
使用延長	約 1,980 m	約 470 m
孔数原単位	1.3 孔/m ²	1.9 孔/m ²
爆薬原単位	0.6 kg/m ²	0.8 kg/m ²

4. ANFO 機械装填システム

(1) 特徴と概要

現在、国内で最も消費量の多い爆薬は ANFO 爆薬である。その最大の特徴は安価な点にある。しかし、従来の ANFO 爆薬には次のような問題点があり、ほとんどトンネル現場では使用されなかった。

- ①耐水性がないため、水孔で使用することができない。
- ②含水爆薬に比べ後ガスが悪いため、トンネルでは十分な換気を要する。
- ③強アルカリである吹付モルタルを含んだ水と反応してアンモニアガスを発生する。

しかし、従来の ANFO 爆薬に特殊な中和剤を配合することで、アンモニアガスの発生を抑制するトンネル用の ANFO 爆薬が開発され、機械装填システムの中では今まで最も多くの現場で使用されている。ただし、従来の ANFO 爆薬と同様に耐水性がないので、踏まえ孔等の水孔では含水爆薬を装填する必要がある。

表—7 トンネル用 ANFO 爆薬の性能

比 重	0.80～0.90
耐 水 性	なし
爆轟速度	2,500～3,000 m/s
弾動振子	62～68 mm ^{*1}
後 ガ ス	要注意
落つい感度	8 級
BAM 式摩擦感度	7 級

*1 当社測定方法による

ANFO 機械装填システムでは、導火管付き雷管を使用する。ANFO 爆薬はランデックスと同様に発破孔に密装填されるので、発破孔数の削減が期待できる。

ANFO 爆薬用装填機の爆薬ホッパーは圧力容器で、ホッパー内の圧縮された空気と爆薬が、ホッパー下部のボールバルブを開くことで装填ホース内に送り出される。ボールバルブの開放時間はタイマーによって制御される。操作はランデックス用と同型 (図—6) の 4 つの装薬ボタンのある無線リモコンで行い、装薬作業はランデックスと同じ手順で行う。

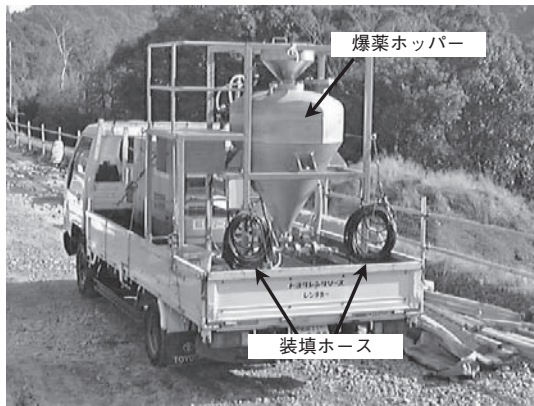


図-11 ANFO 爆薬用装填機

表-8 ANFO 爆薬用装填機の概要

本 体	AL-250…W:1,100×L:1,700×H:1,840mm AL-500…W:1,200×L:1,800×H:2,190mm
爆薬ホッパー	圧力容器 AL-250…容量：200kg AL-500…容量：450kg
装填ホース	内径 19mm×外径 25mm×長さ 30m
使用爆薬	ネオアンホ
重 量	AL-250：350kg, AL-500：450kg
所要電力	バッテリー（12V, 装填機に付属）
装填機の動力	空気圧 （圧力=0.7MPa, 容量=5.0m ³ /min）
操作方法	無線リモコンによる遠隔操作
必要機材等	上記規格のコンプレッサー 台車：2～4tトラック （装填機とコンプレッサーを搭載） 計量用の重量計が必要

5. おわりに

アルフレッド・ノーベルが発明したダイナマイトは100年以上にわたって現在も使用されており、これだけ製品寿命の長いものは珍しい。20世紀後半になり、ANFO爆薬や含水爆薬の発明によって経済性や安全性が向上し、点火装置は電気雷管から非電気式雷管やIC雷管が開発され、発破の機械化・省力化に対しても火薬類の技術が対応できる状況になってきた。

ここでは、トンネル発破において、当社で実用化している粒状含水爆薬、紙巻き包装品含水爆薬およびANFO爆薬を使用する機械装填システムの特徴とその概要について述べた。

現在でも、紙巻き包装品の含水爆薬を木製込め棒で手装填し、電気雷管の脚線を手で結線する方法が主流である。しかしながら、トンネル掘削においては、ますます安全化・効率化のニーズが高まってきており、装薬作業中の崩落事故防止や掘削効率向上について、装填の機械化が進んでいくと考えている。

これらを加速するためには、機械装填の特徴である爆薬の密装填による穿孔数削減効果やサイクルタイムの短縮について、実績を重ね、安全性と発破のトータルコスト低減が実現できるように努力していきたいと考えている。

JCM A

《参考文献》

- 1) カヤク・ジャパン(株)：カタログ及び技術資料
- 2) (株)熊谷組：爆薬遠隔装填システムカタログ

【筆者紹介】



中村 聡磯 (なかむら さとき)
カヤク・ジャパン(株)
技術部



田口 琢也 (たぐち たくや)
カヤク・ジャパン(株)
厚狭研究部



松岡 秀之 (まつおか ひでゆき)
カヤク・ジャパン(株)
延岡研究部