

32. バルクエマルジョン爆薬発破システムの開発と実用化

佐藤工業㈱：*京免 繼彦、今村 仁悟、
馬場 真一郎

1. はじめに

近年のトンネル工事は、削孔機械・積込機械・運搬機械の大型化やシステム化により、施工の効率化が図られているが、発破作業の改善による更なる高効率化施工が求められている。

現在、発破作業に用いられる爆薬は、一般的に含水爆薬または ANFO 爆薬が使用されおり、発破効果に影響が大きい密装薬の可否・装薬手間・耐水性・後ガス量などについて、それぞれ一長一短がある。今回開発したバルクエマルジョン爆薬は、爆薬自体を低粘度のゲル化することで、包装タイプ膠質状爆薬と ANFO 爆薬の長所を合わせ持ち、機械装填による作業性の効率化を図ることが可能である。

このバルクエマルジョン爆薬とその発破システムの実用化を目的に、発破効果・安全性・装填能力・取り扱いなどを確認するため、「長崎自動車道 現川トンネル工事」において実証実験を行った。

本稿は、実証実験の結果を踏まえ、この次世代発破システム、特に装填ポンプシステムについて報告する。

2. バルクエマルジョン爆薬発破システムの概要

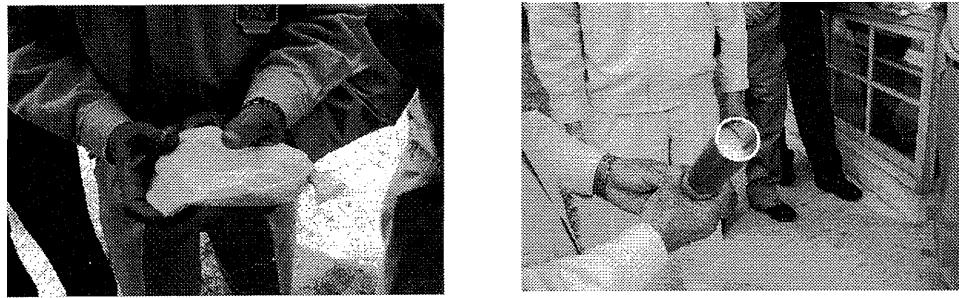
1) バルクエマルジョン爆薬の概要

バルクエマルジョン爆薬とは、包装タイプ膠質状エマルジョン系含水爆薬と組成・性状・性能が異なった低粘性爆薬で、機械による装填（モノポンプ）を可能にした爆薬である。従来の含水爆薬・ANFO 爆薬との違いを表-1 に示す。

表-1 爆薬性状・性能比較表

	膠質状エマルジョン系含水爆薬	ANFO 爆薬	バルクエマルジョン爆薬
性状	膠質状	顆粒状	ゲル状（バルク状）
粘度 (Pa·s)	>2000	—	792
爆薬速度 (m/s)	5900	2800	5220
密装薬	✗ 不可	○	◎ ゲル状なので良好
装薬手間	△ 手作業。要込め物	○ エアー式で簡易	○ 簡易
装薬量	○ 100g 単位で管理可能	△ 管理難	◎ g 単位で管理可能
耐水性	◎ 湿水箇所での使用可	✗ 使用不可	○ 使用可
後ガス	○ 良好	△ アンモニア臭が残る	○ 良好

バルクエマルジョン爆薬の性状は一見マヨネーズに似ている。かなり柔らかいが、画像-1 右側の様に配管に入れ逆さにしても落ちてくることはない。運搬は 20kg のポリ容器運搬とした。



写真—1 バルクエマルション爆薬の性状

バルクエマルション爆薬発破システムの長所を下記にまとめる。

- ① 発破効果が大きい密装薬が可能である。
- ② ポンプ装填により作業が簡易である。また、装薬量の細かい調整、管理が可能である。
- ③ 耐水性に優れ、削孔水の除去や湧水に気を配る必要が無い。
- ④ 後ガスが良好である。

2) 装填ポンプ概要

バルクエマルション爆薬はモノポンプユニットで圧送し、装薬を行う（図—1、写真—2参照）。この圧送システムの特徴を表—2に示す。装填ポンプは当初ポンプ1基搭載タイプを使用したが、後に1基タイプの問題点を踏まえた改良型であるポンプ2基搭載タイプでも実証試験を行った。

表—2 装填ポンプの特徴

項目	特徴
圧送ポンプ	モノポンプを使用する。最大 25kg/分。ポンプ部とモータ部のシャフトの連結部が爆薬と接しないように外でジョイントし安全性を高めている。
駆動装置	1基タイプはエンジン式。2基タイプは電動駆動式。ともに油圧ユニットを駆動しバルブを開閉する。 2基タイプの電動ユニットは 400V, 200V 兼用で 18kW のモータを装備。
圧送ホース	圧送ホースはカーボン入り耐圧ホースを使用する。内径で ø 25mm; 切羽までの延長 30m を装備する。油圧駆動の巻き取り装置を装備している。
爆薬タンク	エマルション爆薬タンク : 0.60m ³ (約 700kg) バルクエマルション爆薬をスムーズに圧送ポンプにチャージするために、タンク内にオーガーが設置されている
破裂板	圧送ホースが 250psi (17.6kg/cm ²) 以上の圧力を受けると破裂し、システムの圧力を瞬時に解放する。さらに 140psi (9.86kg/cm ²) 以上の圧力で電気的にシステムが停止する安全装置が備わっている。
コントロール装置	爆薬圧送を制御するため電子コントロールパネルが設置されている。爆薬供給量がパネルにデジタル表示される。予め供給量（装薬量）を入力しておき、スイッチONにより供給量がカウントダウンされ、供給完了後停止する。各供給量は自動的に積算表示される。
水注入システム	別項参照
機体重量 2基タイプ	システム全体は、架台 3.5m × 1.5m に組み込まれ、4屯トラックに積載可能。（装置総重量 2.5 トン）

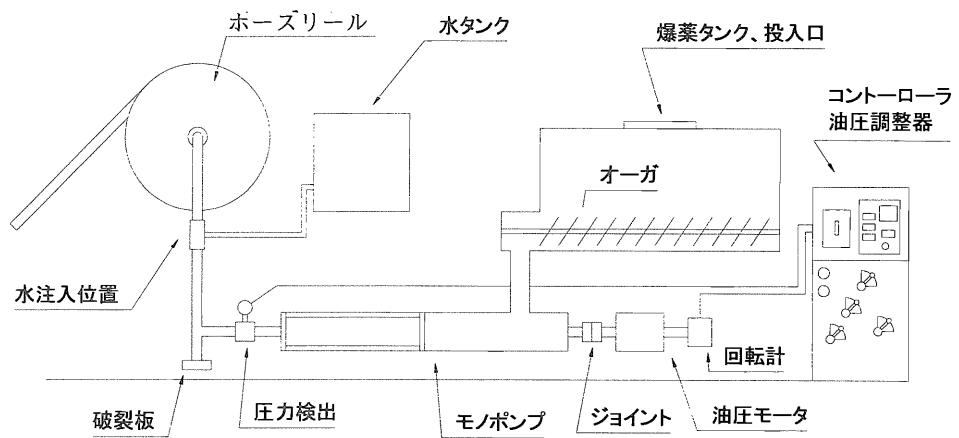


図-1 装填ポンプ概念図

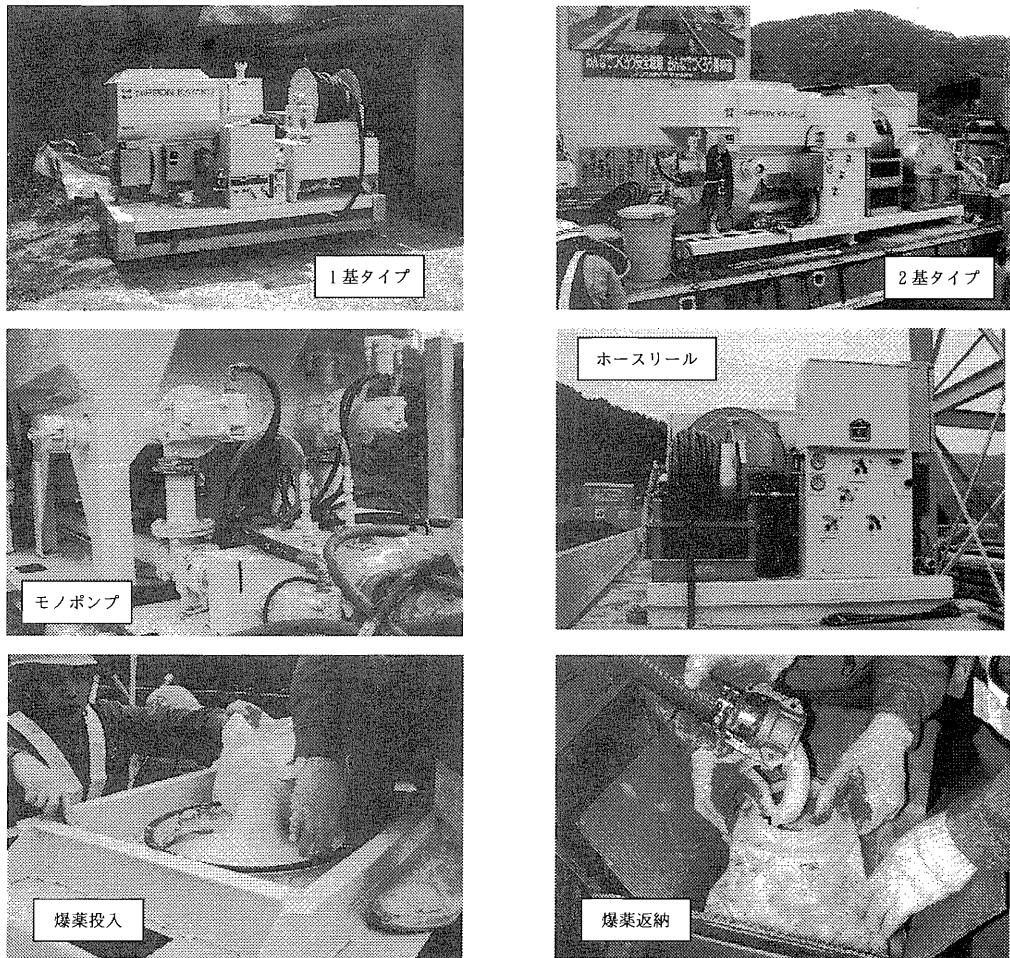


写真-2 装填ポンプ詳細

3) 水注入システム（ウォータインジェクション）

この装填ポンプの大きな特徴として爆薬の圧送に水を使用する点である。逆の言い方をすれば爆薬单品では装填ホース内の圧力が高くなり過ぎ切羽まで圧送する事ができない。 $\phi 25\text{mm}$ のホースだと数mが限度と思われる。機械設置位置から切羽までは、最低でも30m程度のホース延長が必要である。この延長をスムーズに圧送するために考案されたのが水注入システムである。装填ホース内壁と中のエマルジョン爆薬との間に水の膜を作り摩擦を小さくする事で圧送を可能にしている（図-2、写真-3参照）。

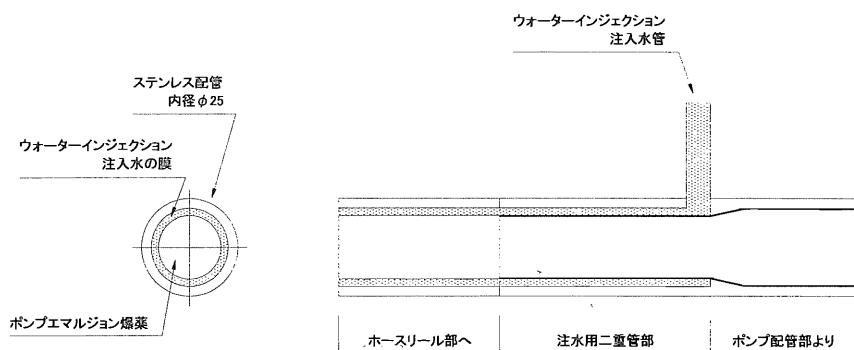


図-2 水注入システム概念図

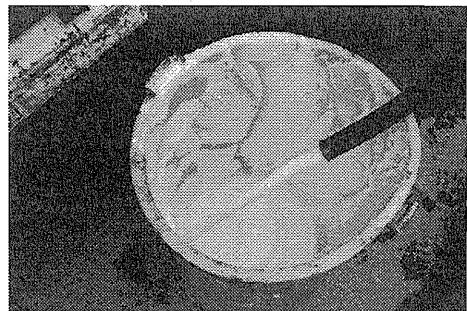


写真-3 吐出状況

3. 実証実験に対する考察

今回、現川トンネルでは約2ヶ月にわたってバルクエマルジョン爆薬での掘削作業を行った。その間に発生した問題について考察する。

1) 装填ポンプについて

装填時に発生した問題を列記する。また、問題に対する考察を表-3にまとめる。

- ① 装填時の圧力が上昇しホースが詰まる。
- ② 圧力上昇が急激に発生し破裂板が動作する。
- ③ 装填時にホースの脈動が発生し爆薬の吐出量が不均一となる。

表一3 原因と考察

項目	考察	対策
現象：圧力上昇 原因：ホースのねじれ	φ25 の耐圧ゴムホースは取り回し難い。切羽ではどうしてもねじれ、折れが発生し圧力上昇の原因となり易い。	今回は挑戦していないが、アンホ装填機に使用されている様なポリエチレンパイプの使用も考えられる。
現象：破裂板動作 原因：新品ホース	破裂板の破損は新品ホースの使用時、長期休工後の作業再開時に多く発生している。ホースと爆薬との慣れが問題と思われる。	通常の作業開始時も行うが、装填開始前に装填圧を安定させるための循環運転を念入りに行う。また水のみの循環を行いホース内の摩擦を減らす。
現象：圧力上昇、脈動 原因： タンクでのエアー混入	タンク内の爆薬量が減少したり、返納爆薬の再使用を行う場合、爆薬の中に空気が混ざる場合があると思われる。このため装填ホース内に空気が混入し脈動、圧力上昇の一因となっていると思われる。	タンク内の残量を常に監視する。また爆薬の再利用時は良くかき混ぜ気泡を出す。
現象：脈動 原因：配管系統	当初の1基タイプでは、設備のコンパクト化のために爆薬タンクからポンプまでの配管系統が曲がっていた。また構造的に分解清掃が不可となっていた。スムーズな爆薬供給に支障をきたす不安があった。	2基タイプではポンプへ直管で供給できるように改変し、また分解清掃可能な構造とした。
現象：脈動 原因： 水注入と爆薬の粘度 送液圧のバランス	基本的に水注入によって爆薬を滑らせて送っている。ホース内でしっかりした水の膜ができていなければ安定した圧力、量を得る事ができない。これを左右するのが水注入と爆薬の粘度送液圧のバランスと思われる。	実証実験途中で爆薬の組成を多少変化させた時に脈動が多く発生した。その後、送液圧を高くし、水量を増す事で安定化させる事ができた。

装填時の脈動の原因については、はっきりした原因を特定できていない。安定した圧送を行うには、いかにホースと爆薬との摩擦を減らすかが問題と思われる。ホースの材質、爆薬の粘度、水注入量、装薬圧のバランスについてさらに検討を重ねる必要がある。

2) その他のシステムに対する問題と対応

①操作者について：エマルジョンポンプはコントロール装置により装填量を制御している。このため1孔あたりの装薬量をg単位で変化させる事ができる。また1発破での積算使用量も確実に把握する事ができる。ただし、このコントロール装置を操作するため専任で作業員1人、さらに、今回使用した設備では装填ボタンを押す作業員・ホース操作者との計3人必要になる。この点は操作ボタンのコンパクト化、無線通信設備の装備などで対応する必要がある。

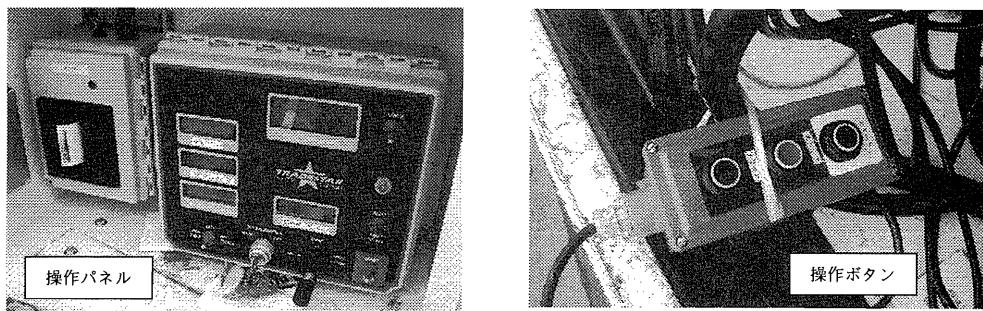
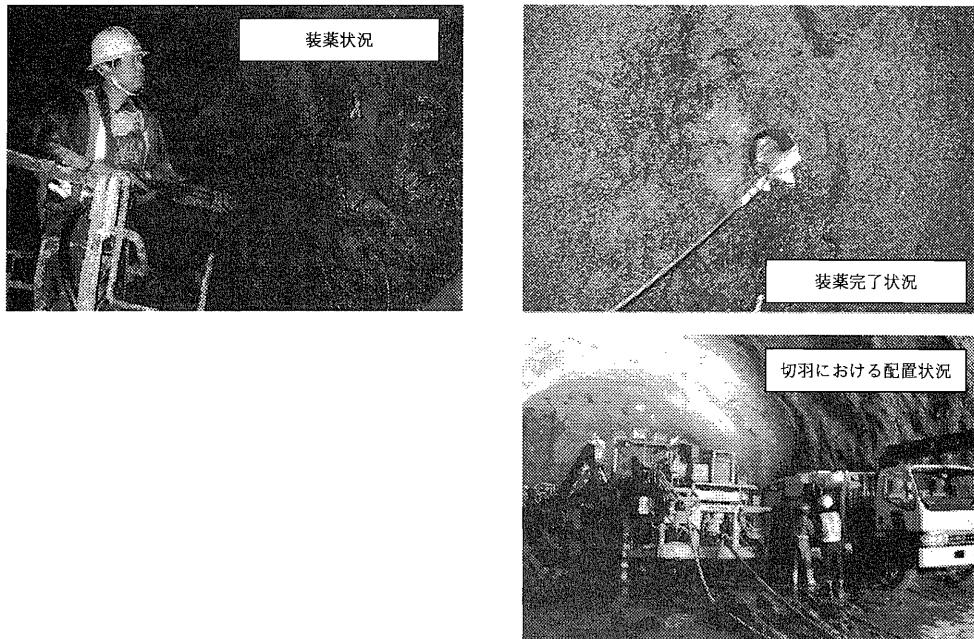


写真-4 操作パネルと操作ボタン

②密装薬について：発破効果に大きく影響を与える密装薬について、バルクエマルション爆薬は、その性状より優位性があるが、ANFO爆薬のように圧入する訳ではなく、爆薬を装薬孔内に流し込む感じになる。この為、操作者がホースを装薬孔内から引き抜くタイミングによって装薬状況に差異が生じる場合がある。この対策として、装薬孔に見立てた透明ホースを使用し装薬タイミングの練習を行うと良い。



写真一五 発破作業状況

4. おわりに

現川トンネルでは出水（最大 7t/分）などがあり最後までバルクエマルション爆薬を使用することができなかったが、爆薬量調整が容易であることから、制御発破にも有効で、湧水・削孔水の耐水性に優れ、込め物を必要とせず装薬時間・手間の簡素化が可能など次世代発破システムとしての実力の片鱗を見る事ができた。装填ポンプの取り扱いに ANFO 装填ほどの簡易さは現在のところ無いが、今後さらに装薬の安定性を向上させトンネル工事の効率化に寄与させたい。