

バルク含水爆薬機械装填の適用性に関する考察

西日本高速道路（株）大津工事事務所

奥隅 豊栄

清水建設・飛鳥建設・銭高組共同企業体

正会員 大矢 隆二

清水建設（株）土木技術本部技術第二部

正会員 楠本 太

1. はじめに

爆破方式の山岳トンネル掘削において、切羽作業時間が短縮でき、爆薬の密装填が可能なバルク含水爆薬機械装填システムを導入し、高度化した Smooth Blasting に曲面切羽を併用して、TBM 導坑先進拡張掘削による延長 2,315 m の大断面トンネルを施工した。その結果、結晶質岩において、バルク含水爆薬機械装填による約 1,334 切羽での装薬量、穿孔数、装薬・爆破時間データなどが得られ、爆破効率や有効性などが明らかになったので報告する。

2. 工事概要

第二名神高速道路甲南トンネルは、掘削断面積 180m^2 の長大トンネルであるので TBM 導坑先進拡張掘削工法を採用した。地質は、比較的硬質な田上花崗岩が分布し、トンネル中央部の約 280m 間は、熱水変質を受け、軟質で脆弱な風化・変質岩、断層、亀裂密集帯が分布する。この下り線工事では、2003 年 12 月に、切羽崩落災害対策として、バルク含水爆薬機械装填システム¹⁾の採用を決め、これに改良を加えながら実用化し、2006 年 2 月 27 日に上半掘削を完了した。

3. バルク含水爆薬機械装填システム概要

安全性が高く、作業性の良いバルク含水爆薬機械装填システムであり、バルク含水爆薬（BSV）、ポンプ部と制御部からなる装填機（Ver3.0）、遠隔装填用装填ホースとパイプおよび爆薬ホッパーと移替装置からなる。バルク含水爆薬の比重は 0.8～0.9、爆速は 4000～5000m/sec であり、機械装填システムの性能・仕様は、表-1 に示す。

4. 基本数量

地山等級別単位数量は、表-2 に示す。また、EDD/SB 発破を実施した地山等級 CⅠ の発破パターン例は図-1 に示す。

5. 施工結果と考察

2004 年 10 月からの本坑掘削と同時に、3ブームホイールチェンボに一体型装填機（Ver1.0）を搭載し、機械装填を開始した。2005 年 6 月からは、高威力の新爆薬 BSV-2 に切り替えると同時に、セパレート型装填機（Ver2.0）を採用した（写真-2）。

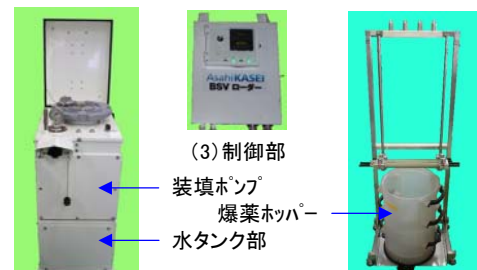
2005 年 9 月からは、（Ver3.0）を 1 台採用し、東西両切羽を合わせて、Ver2.0×7 台と Ver3.0×1 台の計 8 台による機械装填を実施している。装填機に関するデータは、本坑掘削を開始した平成 16 年 10 月から上半掘削完了までとし、Ver1.0 および Ver2.0 これの改良型 Ver3.0 の 3 タイプを含んでいる。爆薬量と穿孔数は、爆薬を BSV-1 から高威力 BSV-2 に切り替えた平成 17 年 6 月 14 日以降のデータであり、施工延長は図-2 に示し、装薬状況は写真-3 に示す。

キーワード：バルク含水爆薬、爆薬機械装填、装薬量、穿孔数、装薬・爆破時間

連絡先：清水建設株式会社土木技術本部技術第二部 Tel. 03-5441-0566、Fax. 03-5441-0510



(1)バルク含水爆薬(BSV-2)



(2)装填機(Ver3.0) (4)爆薬ホッパーと移替装置



(5)装填ホースと装填パイプ

写真-1 バルク含水爆薬機械装填システム (Ver3.0) 概要

表-1 バルク含水爆薬機械装填システム(Ver3.0)仕様

項目	仕様・性能
装填機	ポンプ部重量 約 100kg
	ポンプ動力 空気圧
	装填能力 Max.10kg/min
	操作方法 無線リモコンによる遠隔操作
爆薬ホッパー	性能 脱着式、樹脂製
	爆薬容量 定格 20kg
装填ホース	長さ、外径 4～6m、26mm
装填パイプ	長さ、外径 2m、22mm(先端 34mm)

表-2 地山等級別標準単位数量(上半掘削)

地山等級	1掘進長(m)	掘削断面積(m ²)	装薬量(kg/m ³)	穿孔数(孔/m ²)	装薬・爆破・換気(分)
CⅠ	2.0	73.7	0.9	1.7	55
CⅡ	1.5	73.7	0.7	1.6	50
DⅠ	1.2	77.3	0.5	1.1	40

(掘削断面積には、TBM 導坑分 19.6m² は含まず)

(1) 発破効率

装薬状況は写真-3 に示し、爆破後の切羽全景は写真-4 に示す。切羽の力学的安定の確保、グラントアーチ形成の促進、発破効率の向上を目的として、曲面切羽を採用しているがこれと BSV-2 爆薬の集中装填により、硬質岩での確実な起砕は可能であり、上半掘削ざりサイズは紙巻と同程度である。

(2) 穿孔数

1 発破当たり穿孔数の実績は、図-3 に示す。穿孔数の平均値は、C I で 1.16 孔/m²、C II で 0.83 孔/m²、D I で 0.70 孔/m²となる。標準に対する比率では、C I で 0.68 倍、C II で 0.52 倍、D I で 0.61 倍となり、すべての地山等級で標準を下まわる。

(3) 装薬量

1 発破当たり装薬量の実績は、図-4 に示す。装薬量の平均値は、C I で 0.85kg/m³、C II で 0.71 kg/m³、D I で 0.67kg/m³となる。標準に対する比率では、C I で 0.94 倍、C II で 1.02 倍、D I で 1.32 倍となり、C I を除いて、標準を上まわる。

(4) 装薬・爆破時間

装填機 4 台による 1 発破当たり装薬・爆破時間の実績は、標準の（装薬・爆破・換気時間-5 分）のものとともに図-5 に示す。これの平均値は、C I で 42 分、C II で 28 分、D I で 22 分となる。標準に対する比率では、C I は 0.94 倍、C II は 0.69 倍、D I は 0.73 倍となり、標準の（装薬・爆破・換気時間-5 分）の約 0.7~0.95 倍に短縮される。

(5) 完成度

切羽作業員 27 人に、「安全性」、「作業性」などについてアンケート調査したところ、機械装填システムの採用により、「装填作業は楽になり、作業の安全性は向上した」、「1 掘進長が

1.5mを超えるとその効果は高い」などが分かった。また、「次のトンネルでもバルク含水爆薬機械装填システムを使用してもよい」は、有効回答数の 89%を占めこのシステムの有効性と適用性は高いことが確認された。

6. まとめ

バルク含水爆薬機械装填システムによる TBM 導坑先進拡幅掘削工法による上半掘削では、切羽作業時間は短縮され、装薬作業性と安全性は向上し、これの適用性と有効性は確認できた。今後は、施工データを蓄積しながら更なる改良を継続し、最適な発破パターンを検討するとともに、実用機であるバルク含水爆薬機械装填システムの総合評価を進める予定である。

参考文献:1) バルクサバックス (BSV) システムカタログ、旭化成ケミカルズ（株）、2006 年 4 月。

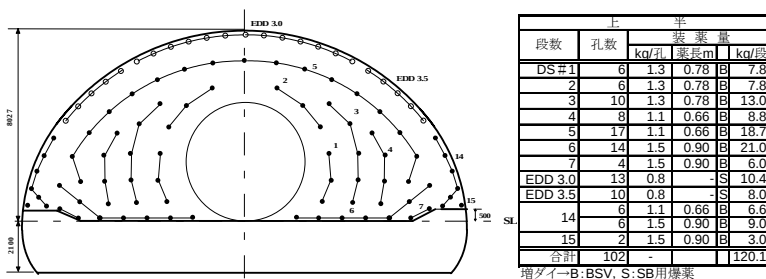


図-1 発破パターン例(C I :BSV+EDD/SB 工法)



写真-2 セハート型装填機(Ver2.0)全景

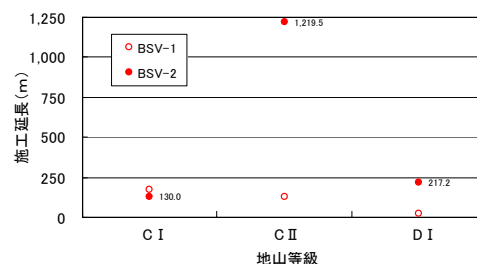


図-2 施工延長(BSV-2)



写真-3 装薬状況

写真-4 爆破後切羽全景

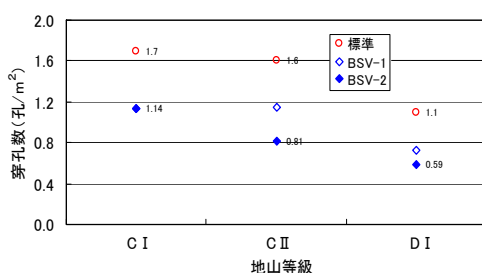


図-3 1発破当たり穿孔数

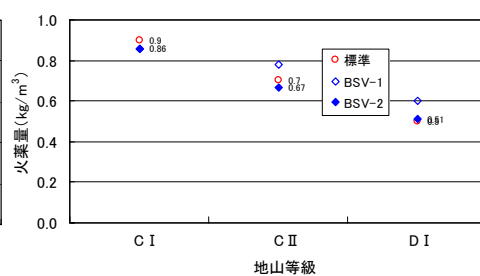


図-4 1発破当たり装薬量

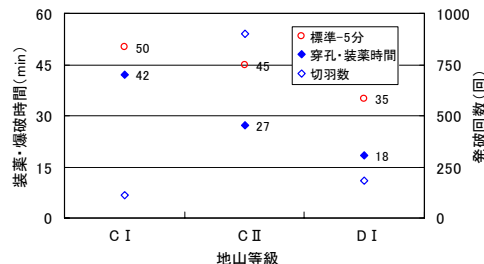


図-5 1発破当たり装薬・爆破時間