

非火薬破砕剤を使用した硬岩地山のトンネル掘削事例

国土交通省北海道開発局帯広開発建設部広尾道路事務所
大林・宮坂・伊藤特定建設工事共同企業体

非会員 村上 勝, 非会員 佐々木 隆
正会員 対馬 祥一, 正会員 高橋 佳孝
正会員 ○西村 友宏

1. はじめに

山岳トンネルにおける発破工法は、短期間で多量の硬岩掘削を可能にする一方で、振動等を引き起こす問題点がある。そのため、火薬類の使用許可申請が受理されていたとしても、周辺の生活環境に影響を及ぼすと判断される場合には、火薬類の使用が制限されることがある。このような場合、機械掘削や割岩工法、静的破砕剤の使用等が検討されることが多いが、新宝浜トンネル北工事で非火薬破砕剤の使用を検討した。

本稿では、本破砕剤の概要を述べた後に、計測値に基づく振動についての検討、施工実績、施工上の留意点を報告する。

2. 工事概要

表1に新宝浜トンネル北工事の概要を示す。本トンネルは北海道広尾郡広尾町に位置し、一般国道336号襟広防災（タニイソ工区）として、落石・岩石崩壊等の災害危険箇所について対策を進めている防災事業の一環である。トンネルにより国道を切り替えて災害箇所を回避することを目的として建設される総延長2,438mの山岳トンネルである。

8月から11月にかけて実施される定置網漁期間中は、周辺環境への影響を考慮して、自由断面掘削機による機械掘削が予定されていた。しかし、先進調査ボーリングの結果より、準岩盤圧縮強度 σ_c が65~80N/mm²程度にも達することが判明し、工程の確保が困難であると考えられた。このため、近年開発された段発破砕が可能である非火薬破砕剤の使用を検討し、採用した。

3. 非火薬破砕剤の概要

表2に非火薬破砕剤の基本性能を示す。本破砕剤は、非火薬組成である破砕剤の酸化還元反応時に発生する高熱により、ガス発生剤に含まれる結晶水を瞬間的に水蒸気に変化させ、その蒸気圧によって岩石を破砕する破砕剤である。

本破砕剤は非火薬組成であるため、使用に関して火薬類取締法が適用されることはなく、また、反応速度は音速以下であり、衝撃波を伴わないため、低振動破砕が可能である。さらには、削孔から装薬、結線、着火の手順は爆薬による発破工法と同様である。

4. 振動についての検討

4. 1 現場計測概要と計測値

図1に現場全体図を示す。図中に示す「番屋」とは、定置網漁期間中、漁師の方々が寝泊りをする宿を意味する。今回、非火薬破砕剤と含水爆薬の破砕による周辺環境への影響を比較するため、図中に示す2つの計測点において振動レベル計測を同時に実施した。

計測には振動レベル計 VM-53A（リオン株式会社製）を使用した。

ここで、新宝浜トンネル北工事における先進調査ボーリングに基づく地質概要を説明する。図2に、振動計測を実施した切羽位置に相当するボーリングコアを示す。同図より、亀裂が少なく風化がほとんど認められない花崗閃緑岩であることが確認できる。RQD(5)は59~96%であり、最大コア長は22~81cm、弾性波速度は5km/s、亀裂係数は0.1%以下である。

図3と表3に、破砕計画図と振動計測値を示す。切羽状況に応じて、孔数、装薬量、段数などを決定したため、破砕毎に条件が異なることに注意が必要である。

表1 工事概要

工事名称	一般国道336号広尾町 新宝浜トンネル北工事
工事場所	北海道広尾郡広尾町
工期	平成24年2月7日 ～平成26年9月12日
発注者	帯広開発建設部
施工者	大林・宮坂・伊藤 特定建設工事共同企業体
工事内容	用途 2車線道路トンネル
	延長 L=972m
	内径 R=4.75m(仕上がり)
	地質 花崗閃緑岩
	掘削工法 機械掘削、発破掘削
	支保構造 坑口、DI、CII

表2 非火薬破砕剤の基本性能

性 状	粉末～顆粒状
比 重	1.07-1.25 g/cm ³
弾動白砲比 (TNT比)	25-35%
反 応 速 度	300 m/s以下
最大燃焼圧力 到達時間	30-50 ms
密閉燃焼圧力	3000 kgf/cm ²
発 生 ガ ス 量	330 ℓ/kg
反 応 生 成 熱	1170 kJ/kg
寸 法	φ38mm, ℓ750mm
段 発	1-10段, 25ms

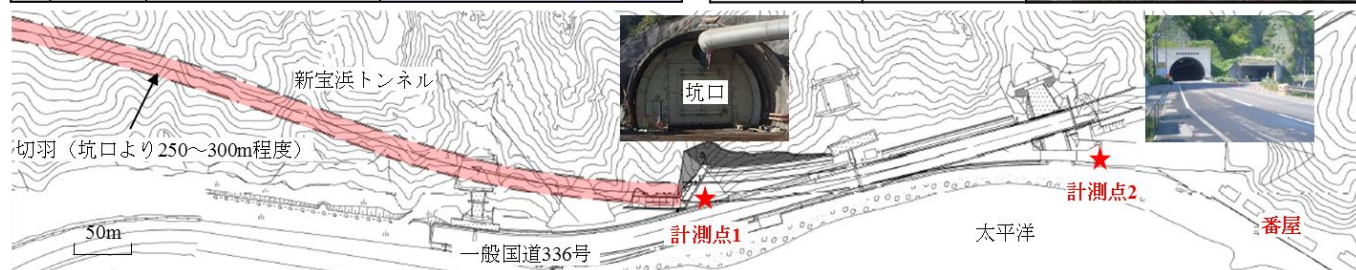


図1 現場全体図

キーワード 山岳トンネル, 硬岩地山, 非火薬破砕剤, 振動

連絡先 (株)大林組 札幌支店 〒060-0003 札幌市中央区北3条西4-1-1 TEL 011-210-7232

なお、本破砕剤により破砕する際、周辺環境への影響をより小さくするために分割破砕を実施した。
表 3 より、振動レベルに関して、計測点 1 における本破砕剤芯抜き計測値は、含水爆薬と比較して最大 20～30dB 程度小さいことが確認できる。一方、計測点 1 から 175m 離れた計測点 2 では、本破砕剤と含水爆薬の振動レベルが同程度、あるいは非火薬破砕剤が含水爆薬と比較して大きい計測値も確認できる。

4. 2 既往の推定式を用いた検討

式(1)に振動レベルの推定式¹⁾²⁾を示す。

$$VL = 20 \log V + 83 \tag{1}$$

VL:振動レベル(dB) , V:変位速度(cm/s)

表 3 の測定データを用いて、式(1)から変位速度を算出すると、本破砕剤の場合 0.003cm/s～0.02cm/s になる。一方、含水爆薬の場合、0.03cm/s～0.1cm/s になる。含水爆薬の爆速 5800～6000m/s に対し、非火薬破砕剤の反応速度が 300m/s 程度であることから、当然の結果といえる。

5. 施工実績および留意点

5. 1 トンネル工事進捗

非火薬破砕剤によるトンネル掘進実績は、実働 63 日で掘進延長 L=84.0m であり、6.43m/週という結果であった。また、当初の破砕計画では、原単位 1.67kg/m³、破砕回数 2 回/サイクル程度を想定していたが、地質状況の変化により、最終的には原単位 3.4kg/m³、破砕回数 6 回/サイクル程度という結果であった。

5. 2 施工上の留意点

(a)装薬に使用する込め物

図 4 に、本破砕剤を装薬する際の込め物の概略図を示す。本破砕剤を装薬する際の込め物は、装薬後に固化する材料を使用する必要がある。爆薬を装薬する際に使用する砂や粘土を込め物として使用した場合、鉄砲（生成ガスが岩盤に作用することなく、削岩した孔から噴出する現象）になる可能性が高いためである。これは、本破砕剤の反応速度が音速以下であり、衝撃波を伴わないため、動的効果による岩盤の破壊が生じないことが原因であると考えられる。

本破砕剤の振動計測値において、含水爆薬と比較して大きな計測値が確認できるのは、鉄砲が影響していると示唆される。そこで、新宝浜トンネル北工事においては、鉄砲防止のために超早強モルタルを含む込め物に途中から変更した。

鉄砲現象が生じた際の騒音は、発破時の騒音と同程度になり、明かりで非火薬破砕剤を用いた場合の破砕時の騒音よりも明らかに大きいことから、込め物の良否が重要になってくる。

(b)削孔の工夫

先述した通り、本破砕剤は動的効果による岩盤の破壊が生じないため、岩盤の破砕効果は、地質（特に岩石コアの一軸圧縮強度や割れ目の入り方）に大きく左右される。そのため、削孔の際の削孔長や削孔間隔、削孔角度を精度よく施工管理する必要がある。

6. 結論

非火薬破砕剤によるトンネル掘削は、機械掘削が困難な硬岩地山において、爆薬が使用できない場合に十分施工可能であることが実証された。また、衝撃波を伴わないため、爆薬による発破工法と比較して低振動となる傾向が確認できた。

今後、市街地近傍の硬岩地山トンネル等で発破掘削の代替工法となる可能性が十分にあるといえる。ただし、鉄砲により騒音が大きくなること、生産量が少なく大量消費が困難であることなどの欠点があることから、以下の点が改善されることがのぞましい。

- ① 充填性の高い込め物の開発
- ② メーカー生産量の増大

謝辞

最後に、施工に携わった全ての方に感謝致します。今回の事例が今後同様の建設工事の参考になれば幸いです。

参考文献

- 1)あんな発破こんな発破：日本火薬工業会
- 2)仮設備用騒音対策設計・積算基準書：建設騒音対策協会

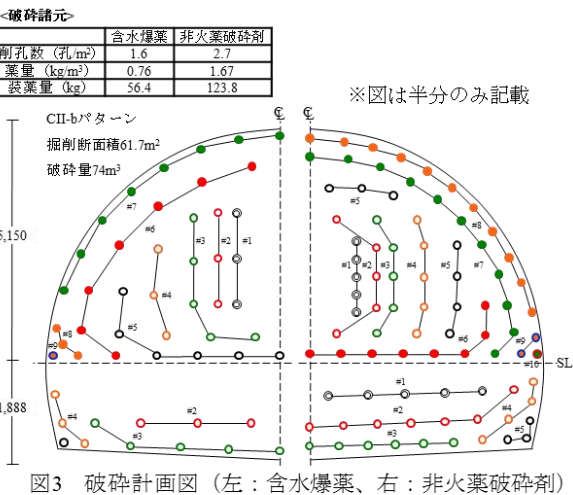


図3 破砕計画図 (左：含水爆薬、右：非火薬破砕剤)

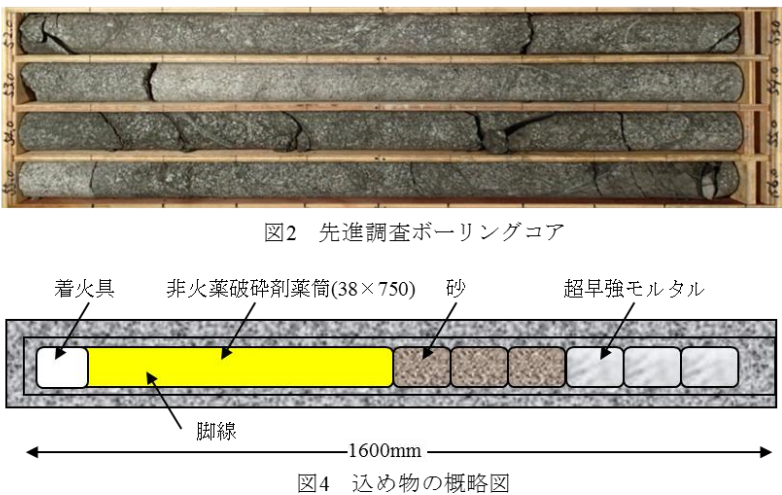


図4 込め物の概略図

表3 計測値

種別	切羽No.	振動実測値(dB)		種別	切羽No.	振動実測値(dB)	
		計測点1	計測点2			計測点1	計測点2
非火薬破砕剤 (芯抜き)	238	31.6	24	含水爆薬	257	62.6	30
	239	36.9	24		260	55.6	27.2
	241	50.9	37.4		261	51.7	27.9