

スロット工法に用いる高圧放電式破碎技術の開発

DEVELOPMENT OF ELECTRO-BLASTING TECHNOLOGY FOR SLOT DRILLING ASSISTED TUNNEL EXCAVATION

○安井啓祐1)・塚本耕治2)・山田恒身3)・広瀬敏男4)・高橋 聡5)

Keisuke YASUI, Koji TUKAMOTO, Tsunemi YAMADA, Toshio HIROSE, Satoshi TAKAHASHI

The Electro-Blasting technology for slot drilling assisted tunnel excavation has been developed. Experiments to evaluate this method were carried out on granite rock faces in a quarry and a dam site. Ground vibration have been measured and compared with the vibration by conventional drilling and blasting method at the same sites. This paper presents the outline of the method and test results.

Key Words: tunnel, non blasting excavation method, slot drill, electro blasting, drilling and blasting

1. はじめに

市街地や既設重要構造物に近接した山岳トンネル工事では、振動や騒音の問題から火薬類の使用が禁止される場合が多い。このため、種々の無発破掘削工法が開発されている。その一つであるスロット工法は、スロット削孔機により切羽に自由面を作成し、油圧くさびや液圧破碎装置などの割岩工法により割岩してブレーカで破碎するもので、これまでに10数件のトンネル工事で採用されている。無発破工法の普及を図るためには施工効率と経済性のさらなる向上が課題である。そこで、筆者らは高圧放電を利用する岩盤破碎技術に着目し、スロット工法に適した効率的な割岩工法として実用化を進めてきた。今回、高圧放電式破碎技術(Electro-Blast: E Bと略称)を用いた岩盤破碎実験を行い、破碎性能、スロット工法への適用性を確認した。以下に、E Bの概要と実験結果を報告する。

2. E Bの概要

このE Bは、破碎孔の中に装填したゲル状の非火薬混合物(以下ゲルと称す)に、高圧に充電した電気エネルギーを約2/1000秒程度の短時間に放電し、このときに発生するガスで破碎孔内を超高圧状態にして岩盤やコンクリートを破碎するものである。

E Bは図-1に示すように、①高圧電気を充電、放電、制御するキャパシターバンク・制御ユニット、②ボアホールに装填するゲル、③これらを接続するケーブル等で構成される。

キャパシターバンクへの入力電源は200V、20kWであり、通常の発電機または商用電源を利用することができる。

-
- | | |
|-------|-----------------------------|
| 1)正会員 | (株)奥村組本社土木部 |
| 2)正会員 | (株)奥村組技術研究所 |
| 3) | 石川島播磨重工業(株)営業本部事業企画推進部 |
| 4) | 石川島播磨重工業(株)技術本部メカトロ総合開発センター |
| 5) | 建設省東北地方建設局三春ダム工事事務所 |

ゲルはアルミニウムを主成分とする金属粉末をポリマー水溶液と混合したものであり、化学的に安定で反応生成ガスは無害である。発生する高压ガスを破碎孔内に密閉する方法として、ゲルを装填した後に急硬性セメントを用いてタンピングするカプセルタイプと、鋼製ロッドとパッカーで構成する装置（プローブと称する）で密閉するタイプとがある。

3. 岩盤破碎実験

(1) 実験概要

EBの破碎性能を確認するための破碎実験を福島県下のダム現場下流の河床岩盤を対象として行った。ダム付近の地質は花崗岩で、実験場所の岩盤はやや風化しており、一軸圧縮強度は30～110MPaである。

図-2に示すように、破碎孔の孔間隔を約0.6m、最小抵抗線長を0.6～0.7m、孔長を1.0mとし、ベンチカット方式により2孔同時に破碎した。

破碎は、表-1の実験ケースに示すとおり、計18回（破碎孔は36孔）を行った。

タンピングには急硬性セメントカプセルを用いた。また、破碎効果と振動値を比較するため、爆薬を用いた発破工法の実験も実施した。爆薬量は実験場所付近の発破掘削の実績値をもとに1孔当たり150grfとした。

振動計測は、破碎地点から約5m、15m、40m付近の3箇所に振動速度型の振動計（固有振動数4.5Hz）を設置し、3成分の振動を計測した。

(2) 実験結果

a. 破碎状況

破碎状況を写真-1に示す。良好に破碎されたケースでは、破碎孔2孔と自由面との間の岩盤が地山から完全に分離され、数10cm大のブロック状に破碎された。一方、ほとんど破碎できなかったケースでは、孔間または自由面との間にわずかな亀裂が観察されるのみで、地山からの岩盤の分離は認められな

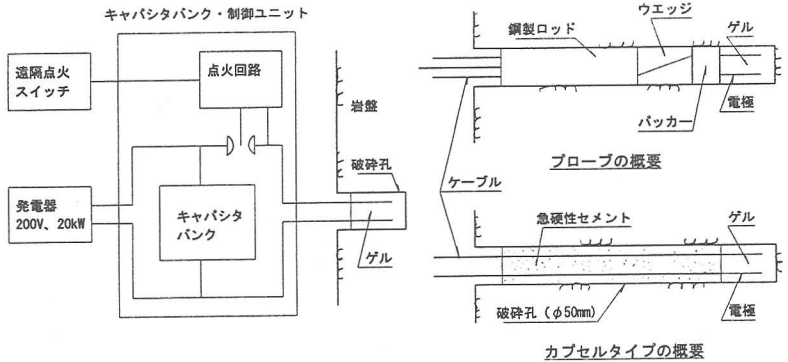


図-1 高压放電式破碎装置の概要

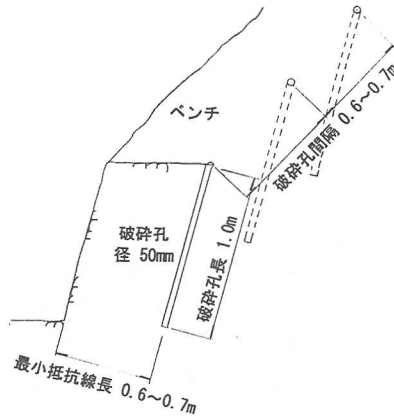


図-2 破碎孔の配置

表-1 実験ケース

高圧放電式破碎	充電エネルギー量 (kJ)	1孔当たりゲル装填量 (grf/孔)	実験回数
	100	200	4
	120	140	5
	120	200	4
	170	200	5
発破	使用爆薬 2号覆 1孔当り爆薬量 150grf/孔		4

* いずれも2孔を同時に破碎



写真-1 破碎状況

かった。破碎状況を評価するため、筆者ら3名が破碎状況を目視観察し、4段階に区分した。

18回の破碎実験の判定結果を表-2に示す。

充電エネルギーが170kJでゲルが200grfのケースでは良好に破碎できた。120kJでゲルが200grfでは比較的良好に破碎できるが、140grfでは十分破碎できなかったケースが見られる。100kJでは、ほとんど破碎できなかった。このうちの2回は、同時破碎した2孔のうち1孔のみが破碎されたが、他の1孔は破碎できなかった。破碎できなかった孔からゲルを回収した結果、装填したゲルの一部が未反応の状態で回収された。これらのことから、所定量のゲルの反応にはある値以上のエネルギーが必要であり、破碎効果は充電エネルギー量に左右されることがわかった。170kJで200grfのケースでは、1回当たりの破碎量は0.64m³で、単位破碎量当たりの充電エネルギーは265kJ/m³となった。なお、爆薬による実験では4回とも良好に破碎できた。

表-2 岩盤破碎実験結果

		充電エネルギー量 (kJ)		
		170	120	100
1 孔 当 り ゲ ル 量	200 (grf/孔)	◎◎◎ ◎○ (0.64)	◎◎ ○○ (0.43)	△△ ×× (0.08)
	140 (grf/孔)		◎◎ △△△ (0.28)	

注1 破碎状況判定結果

- ◎ : 良好な破碎
- : ほぼ良好な破碎
- △ : 1孔のみ破碎、または亀裂のみ形成
- × : 破碎不良

注2 () 内の数値は1回当たりの平均破碎量 (単位: m³)

b. 振動計測結果

振動計測結果を図-3に示す。各測定点でのX,Y,Zのそれぞれの最大振動速度をプロットしたものである。EBによる破碎時の振動速度は平均で発破工法の約1/5となった。また、図に示した回帰直線をもとに発破振動推定式を求めると以下ようになる。

$$EB \text{ の場合: } PPV = 18 \cdot W^{2/3} \cdot D^{-1.6}$$

$$\text{発破の場合: } PPV = 205 \cdot W^{2/3} \cdot D^{-1.9}$$

ここで、PPV: 最大振動速度振幅 (cm/sec)、W: 火薬量またはゲル量 (kgf)、D: 破碎地点から振動計までの距離 (m)である。なお、EBによる破碎では、破碎時の振動速度はゲルの薬量よりも充電エネルギーに左右され则认为られるが、ここでは発破と比較するため薬量に関係すると仮定した。振動定数は発破工法が205であり、ベンチカットの一般的な発破定数と一致する。これに対してEBの定数は18となり、発破の1/10程度となっている。

4. スロット工法と併用する岩盤破碎実験

(1) 実験概要

EBのスロット工法への適用性を確認するための破碎実験を奈良県下の碎石場で実施した。地質は新鮮な花崗閃緑岩で一軸圧縮強度は110~170MPaである。ベンチカットされた岩盤斜面にスロット削孔機により図-4のようにブロック状に区

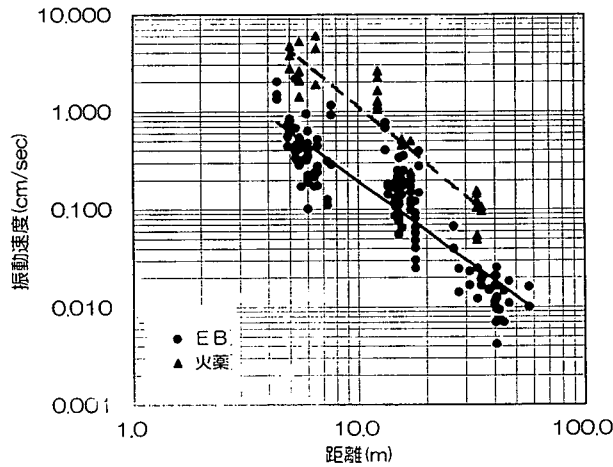


図-3 振動計測結果

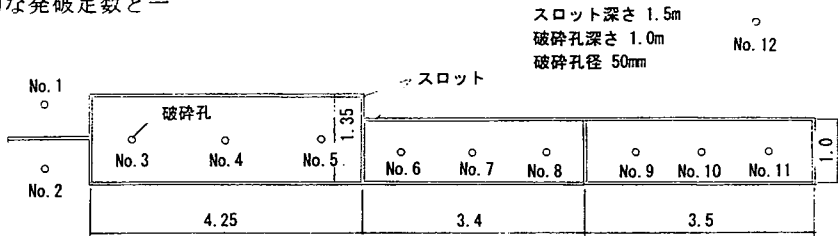


図-4 スロット工法との併用による破碎孔配置

切り、自由面の多い状態として破碎を行った。
削孔したスロットの深さは1.5mで破碎孔の深さは1mとした。

孔No. 1～5 およびNo. 12については、図－1に示したプローブタイプを、孔No. 6～11についてはカプセルタイプを用いた。

孔No. 9、10は2孔同時に破碎し、それ以外は1孔ずつ破碎した。充電エネルギーは170kJで1孔当たりのゲル量を200grfとした。

(2) 実験結果

a. 破碎状況

1方向にスロットがあるNo. 1、2では破碎孔からスロットに向かって3角柱状に破碎された。プローブを用いたNo. 3～5ではすべて良好に破碎することができた。スロットのないNo. 12では、全く破碎できなかった。

カプセルタイプを用いたNo. 6～8およびNo. 9～11のブロックについては、写真－2、3に示すように、すべて良好に破碎することができた。破碎された岩盤をすべて除去した後、ほぼ破碎孔先端まで破碎できていることがわかった。

No. 3～11の9孔の破碎で約12.6m³の岩盤を破碎した。1孔当たりの破碎量は1.4m³で、単位破碎量当たりの充電エネルギーは120kJ/m³となった。

b. 振動・騒音計測結果

計測した最大振動速度は、図－3に示した岩盤破碎実験結果の値のほぼ2/3程度となった。

また、騒音計測結果は、破碎地点からの距離が50mの地点で92dB、150m地点で77dBであった。



写真－2 破碎前の状況



写真－3 破碎後の状況

5. まとめ

スロット工法と併用するEBを開発し、現場実験により破碎性能、スロット工法への適用性を確認した。結果をまとめると以下の通りである。

①表－3に示すとおり、EBはスロット工法との併用により実用レベルでの岩盤破碎が可能であり、破碎能力は充電エネルギー量によって調整することができる。

②破碎時の振動は、発破振動の約1/5程度と小さく、発破工法より騒音や飛石の影響は少ないものと考えられる。

EBはスロット工法との併用によるトンネル掘削以外にも種々の用途が期待される。今後、現場での試験施工を通して施工能率とコストデータの整備、安全性の検証を行い実用化を進める予定である。

表－3 破碎能力の比較

破碎方法	一軸圧縮強度 (MPa)	破碎エネルギー (kJ/m ³)	破碎量 (m ³ /孔)
ペンチカット工法	30～110	265	0.3
スロット工法併用	110～170	120	1.4