

# 低コスト連続穿孔機エルエスカッター工法の開発

山 森 和 博・山 下 正 治・北 原 成 郎

硬岩地山で山岳トンネルなどの岩掘削工事を行う場合には一般的に破碎力の強い火薬による発破工法で施工するが、工事に伴う騒音・振動を抑制して周辺環境に与える影響を小さくすることを目的として機械掘削工法が採用される。この場合、掘削困難あるいは生産性が極めて悪化することになる。切羽面にスリットを設けることで、掘削効率向上や騒音、振動の低減が実現できるが、従来のスリット造成工法では高コストになる問題があった。

そこで、低コストでスリットが造成できる工法の開発を目指し、汎用の削岩機に簡単に装着できる連続孔穿孔方式によるスリット造成機を利用したエルエスカッター工法の開発を行い、実用化を図った。実際に導入した事例として、トンネル工事への適用例を紹介する。

キーワード：山岳トンネル、機械掘削工法、無発破工法、硬岩掘削、割岩、スリット

## 1. はじめに

硬岩地山における山岳トンネルでは威力の強い発破工法で施工することが一般的である。しかし、市街地や重要構造物等が近接するトンネル工事の場合、発破掘削で発生する騒音・振動による影響が懸念される。そのような条件下の場合は、周辺環境に与える影響が少ない機械掘削工法が適用される。

機械掘削工法には、割岩工法・自由断面掘削機・大型ブレーカによる自由断面掘削方式とTBM（Tunnel Bowling Machine）による全断面掘削方式がある。エルエスカッター工法は、スリット（連続孔）形成にて岩盤を破碎し、掘削する割岩工法に分類され、低コストにて効率的な工法として開発を行った。今回、新設トンネル工事における初期掘削に本格採用した。

本報文では、本工法の特徴と適用事例について紹介する。

## 2. エルエスカッター工法

### (1) トンネル掘削における割岩方法<sup>1)</sup>

トンネル掘削での割岩方法は、切羽面に穿孔した孔に油圧くさび等の割岩機や静的破碎剤を挿入し、岩盤に大きな亀裂を発生させ、大型ブレーカ等で岩盤を掘削する工法である。割岩機や静的破碎剤は、発破工法と比較して破碎能力は格段に劣るため、1自由面とな

るトンネル切羽面に亀裂を生じさせることは困難である。そこで、効果的に岩盤に亀裂を発生させるためには、人工的に自由面を形成することが必要となる。

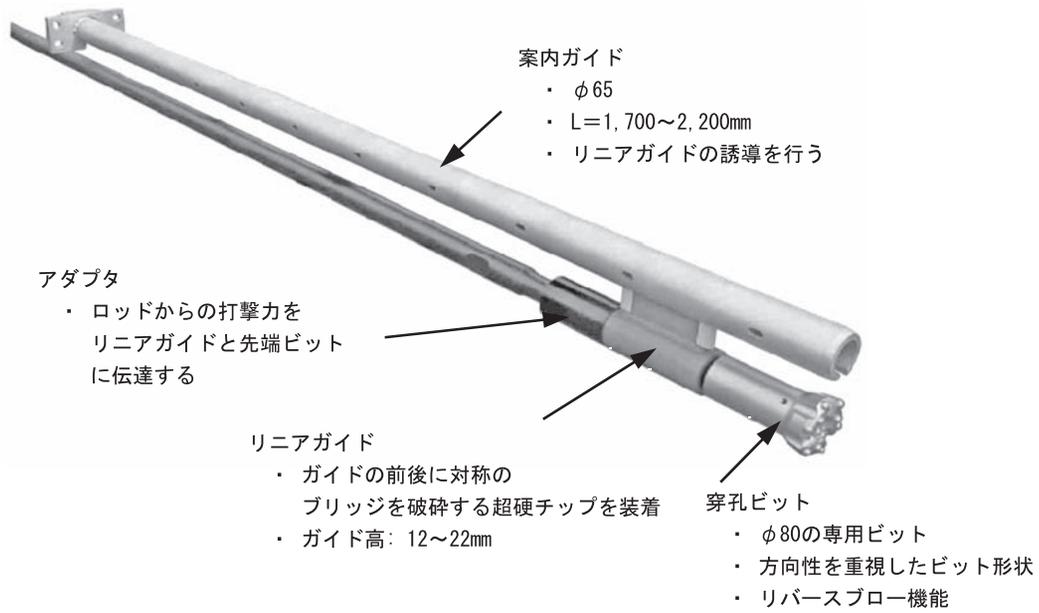
自由面形成方法としては、トンネル汎用機械である油圧ドリルジャンボを使用したスリット形成を行う方法が多く採用されている。工法としては、SD工法による多連ドリル方式、DPS工法等に代表される単一孔連続方式が主な工法である。いずれの工法も、孔を重ねることにより孔間のブリッジを破碎してスリットを形成する。本工法は、単一孔連続方式に分類される。

### (2) エルエスカッター工法の特徴

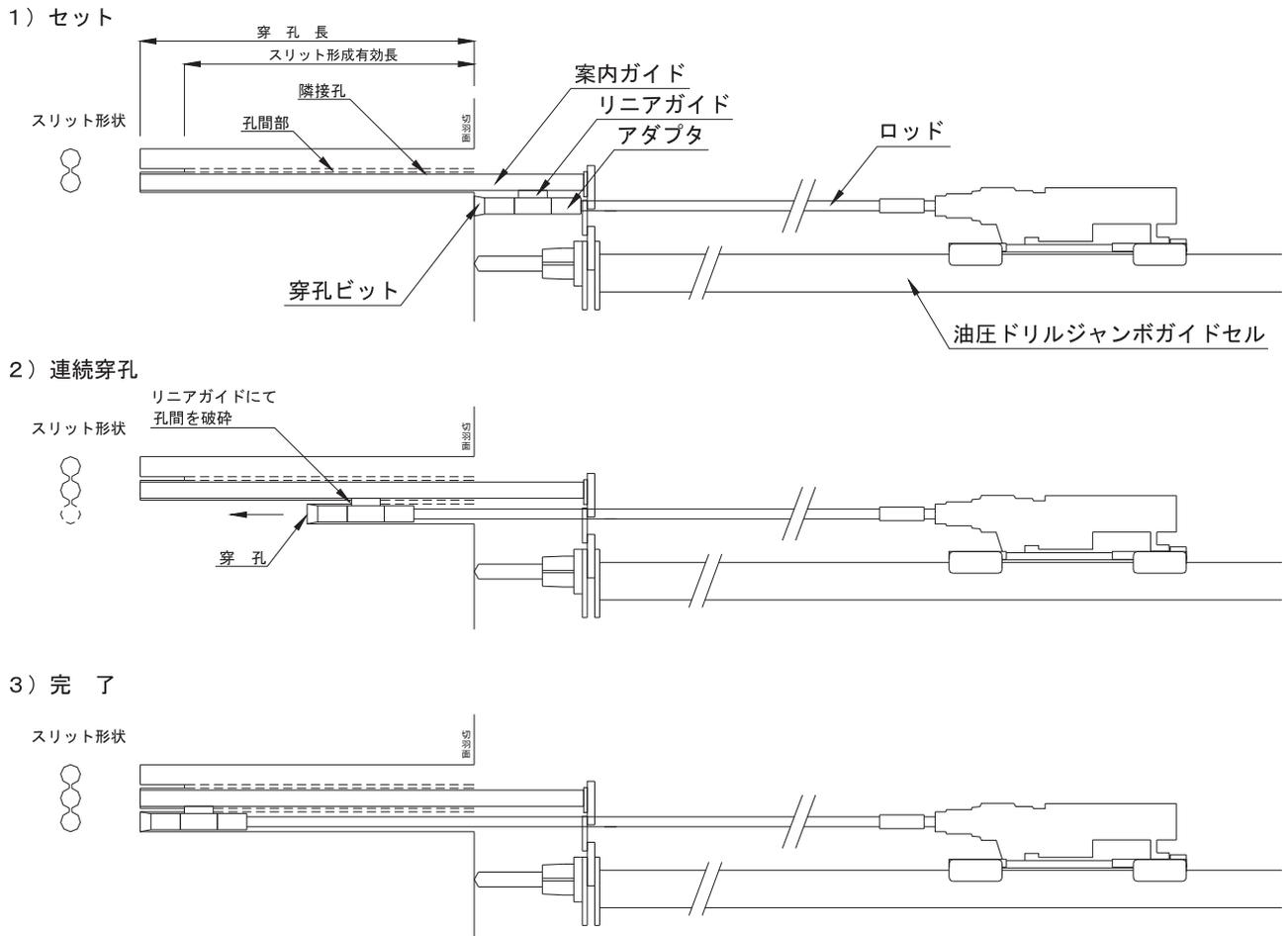
本工法は図-1に示す案内ガイド、穿孔ビット、リニアガイド、アダプタにて構成される。この装置は、トンネル汎用機械である油圧ジャンボドリルのガイドセル先端部に容易に取付けが可能であるため、自由面形成において専用機は不要となる。

スリット形成方法は、隣接孔に案内ガイドを納め、穿孔長分を挿入する。案内ガイド内をリニアガイドがスライドすることで隣接孔が定規となり穿孔間隔を一定に保つことでスリットが形成される。所定の深さまで穿孔が完了すると引抜き、次穿孔に移動し、連続孔を形成する。図-2に連続穿孔手順図を示す。

前述の通り、従来方法では、穿孔する孔と隣接する先行孔の一部をラップすることで、スリットを形成する方式であった。この場合、1回の穿孔動作ででき



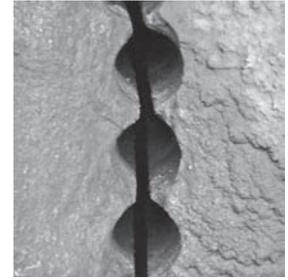
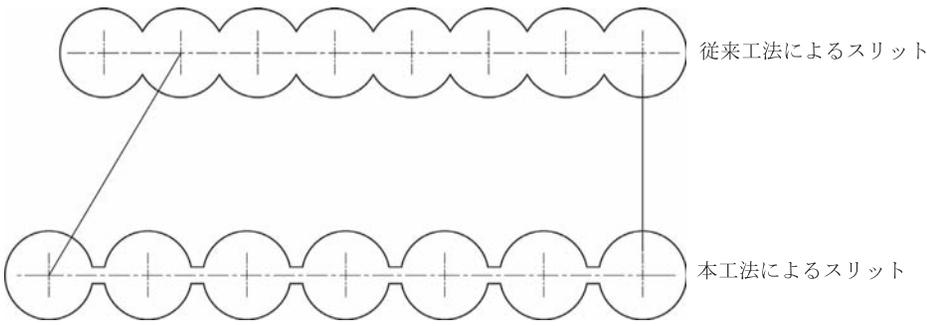
図一1 エルエスカッター装置概要図



図一2 連続穿孔手順図

るスリット長は穿孔径からラップ長を差し引いた長さしかできなかった。本工法では、先行する孔に平行して穿孔しながら孔間をリニアガイドで破碎してスリット形成を行い、また、リニアガイドの高さを変えることができるため、岩盤強度にあわせて孔間隔が設定で

きる。この方式により、従来の方法よりも約20%程度スリット長を長くすることが可能となり、スリット形成時間の短縮、施工の効率化を図ることができる。図一3にスリット形成比較図を示す。



本工法によるスリット形成状況

図-3 スリット形成比較図

### 3. トンネル工事への適用事例

#### (1) 適用背景

本工法を採用した佐賀 497 号山彦トンネル（正式名称：北波多トンネル）新設工事は、西九州自動車道の内、唐津伊万里道路（L = 18.1 km）区間における延長 957 m の新設トンネルである。掘削方式は全線発破掘削にて計画されていた。

トンネル初期掘削の坑口部付近は、周辺地区住民の生活道路との離隔距離が約 50 m と近接しており、また、約 220 m 付近には民家が点在していた。そこで、周辺環境対策として、トンネル初期掘削を発破掘削より騒音・振動および飛び石の影響が少ないブレイカ掘削による機械掘削工法とした。

当初、坑口部は、亀裂の多い CL 級岩盤が分布するとされていたが、崖推堆積物を除去したところ、写真-1 に示すような右側方部より亀裂のない硬質な岩盤部（一軸圧縮強度 70 ~ 80 N/mm<sup>2</sup>）が露出した。地質状態から判断し、今後、トンネル断面全面に出現する可能性が予想されたため、ブレイカ掘削のみでは、工期遅延および周辺環境影響への負荷増大（ブレイカ振動・騒音影響）の懸念もあり、現実的な方法でないとして判断した。そこで、環境負荷低減および汎用機械で効率的な施工を可能とする機械掘削方法について検討



写真-1 坑口状況（トンネル初期掘削前）

する必要があった。

#### (2) トンネル初期掘削方法の検討

坑口岩盤状況および周辺環境状況より、自由面を形成して掘削を行う割岩工法が有効となる。そこで、トンネル初期掘削区間に、エルエスカッター工法を採用し、自由面形成を行うこととした。しかし、自由面形成後の次工程である割岩方法の検討が必要になる。割れ目が多い岩盤であるならば、ブレイカによる直接破岩が効率的であるが、今回は亀裂が少ない岩盤であるため、割岩機や静的破砕剤等を使用して人工的に亀裂を発生させる方法が効率的である。そこで併用する割岩方法について表-1 に比較検討表を示す。今回は、極力施工サイクルを低下させることなく、低コストにて効率的な施工を目的として、高圧ガス破砕剤を採用した。

表-1 割岩比較検討表

	静的破砕剤	高圧ガス破砕剤	油圧くさび
騒音 振動	○ 騒音・振動なし	○ 騒音・振動少ない	○ 騒音・振動なし
安全性	○ 飛石等なし	△ 飛石等少ない	○ 飛石等なし
施工性	× 破砕剤作用時間要	○ 通常施工サイクル	× 施工サイクル増加
経済性	△ 火薬より高価	○ 静的破砕剤より安価	× 機械損料費増
総合 評価	△	○	×

#### (3) 施工状況

表-2 に適用区間のトンネル諸元を示す。また、表-3 に割岩仕様一覧表を示す。割岩方法は、切羽面に対して図-4 に示すような格子状を標準とし、スリット形成を行い、スリットで囲まれた格子状岩塊（1 ブロック）を高圧ガス破砕剤で 1 次破砕した後、ブレイ

表-2 トンネル諸元

名称	内容	
適用延長	10.3 m	
地山区分	DⅢ	
1掘進長	1 m	
地質・岩石名	砂岩	
圧縮強度	70 ~ 80 N/mm <sup>2</sup>	
設計掘削断面積	78 m <sup>2</sup>	
支保構造	吹付厚 (覆工厚)	25 cm (35 cm)
	鋼製支保	H-200 × 200
	ロックボルト	TD24 × 4.0 m

表-3 割岩仕様一覧表

名称	仕様・規格
自由面形成 (穿孔機械) (穿孔長・径)	エルエスカッター工法 (2基) (油圧ドリルジャンボ: 3ブーム 190 kg 級) (1.2 m φ 80 mm)
割岩 (1次破碎)	高圧ガス破碎剤 (ガンサイザー 28-12 型)
破岩 (2次破碎)	1,300kg 級油圧ブレーカ (1台) (ベースマシン 0.8 m <sup>3</sup> 級)

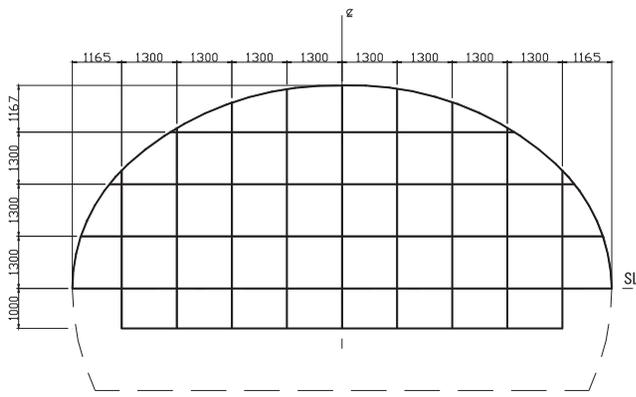


図-4 スリット形成図

カによる掘削を行った。1ブロックあたりの高圧ガス破碎剤使用量は2本(240g)を標準とした。写真-2~5に施工状況写真を示す。



写真-2 スリット形成状況 (エルエスカッター工法)



写真-3 外周部スリット形成状況



写真-4 割岩状況 (高圧ガス破碎剤)



写真-5 ブレーカ破岩状況

今回、短い区間であるが、本工法による自由面形成効率は4.2~5.1 m<sup>2</sup>/hと、岩盤圧縮強度に依存するところはあるが、比較的高い効率を得られた。スリット形成状況としては、縦・横方向およびトンネル外周部も問題なく行えることを確認できた。

また、写真-6に示すように発破掘削を本格的に開始することになった時点で、芯抜き部にスリットを設けた。通常芯抜き部に使用する火薬量より少ない火薬量にて効率的に芯抜き発破を可能とした。



写真一六 芯抜き部スリット形成状況

#### 4. おわりに

今回、エルエスカッター工法の適用効果として、主に以下のようなことを確認することができた。

- ・汎用トンネル機械に容易・短時間に装脱着ができた。
- ・1.5 m 以上の深さのスリットが一度に施工できた。
- ・地山が複雑に変化しても穿孔可能であった。
- ・芯抜きとしてスリットが効果的に利用できた。

以上より本工法は、従来工法と比較して、効率的なスリット形成を実現し、振動・騒音を低減する割岩工法として有効な手段である。また、汎用トンネル機械に容易に装備が可能で低コスト化を実現した。この効果を活かし、多彩なスリットパターンを形成し、割岩機もしくは静的破碎剤を組み合わせることで、条件に応じた割岩方法を提供することができる。さらに、発破使用に制限がある場合、芯抜き部および周辺孔へスリット形成を適用することで火薬量軽減や振動、騒音

低減など効果を発揮することが可能となる。

今後は、適用事例を重ね、国土交通省新技術情報提供システム（NETIS）の登録を目指す。

なお、本工法は特許登録（特許番号：第 3816350 号）しており、あわせて「エルエスカッター」を商標登録（第 5017470 号）している。

最後になりますが、本工法に関して共同開発を頂いた三菱マテリアル(株)殿に感謝を申し上げます。

J C M A

#### 《参考文献》

- 1) ジェオフロンテ研究会：割岩工法便覧 割岩工法に関する技術資料（総集編），2006.12.6

#### 【筆者紹介】



山森 和博（やまもり かずひろ）  
（株）熊谷組  
土木事業本部 トンネル技術部  
担当課長



山下 正治（やました まさはる）  
（株）熊谷組  
九州支店 土木部  
作業所長



北原 成郎（きたはら しげお）  
（株）熊谷組  
土木事業本部 機材部  
担当部長