

連続孔穿孔による新しい自由面形成工法

## FONドリル工法を用いた割岩掘削について

株式会社フジタ

都市や重要構造物近郊でトンネルを掘削する場合、振動・騒音を伴う発破工法は制限され機械掘削となる。その際、掘削対象地山の圧縮強度が100MPaを超える硬い岩盤では、割岩工法が採用される場合が多い。割岩工法とは、トンネル切羽に自由面（溝）を形成し、これを利用して岩盤を破碎する工法である。この自由面形成において、従来工法では専用機が必要であったのに対し、FONドリル工法は、汎用削岩機を用いて連続性に優れた効率の高い自由面の形成を可能としている。本報告では、FONドリル工法の概要および施工例について示す。

### 1. 割岩工法とは

#### (1) 概要

山岳トンネルを掘削するには、発破工法を採用すれば経済的であり掘削効率も高い。しかし、最近では都市域の拡張などに伴い、住居や重要構造物近傍における硬岩トンネルの掘削事例が増加している。このようなトンネルでは、近隣住民や構造物への影響を考慮し、大きな振動・騒音を伴う発破工法は制限、または全面的な禁止に至る場合が多い。この際には、硬岩トンネル掘削においても機械掘削が採用される。

最も一般的な機械掘削工法である自由断面掘削機やブレイカ等を用いる方法では、対象となるトンネルの掘削対象地山の軸圧縮強度が100MPaを超過すると掘削が困難となる。このため、圧縮強度が100MPaを超過するような岩盤を機械掘削するには、割岩工法を採用する機会が多く、岩盤が硬質となるほど最適な工法となる。

割岩工法とは、トンネル切羽に穿孔した割岩孔に割岩機を挿入し、岩盤に引張応力を作用させることにより大きなき裂を発生させ順次掘削する工法であり、ブレイカ等により切羽面を整形して掘削完了となる。

その際に重要となるのは、自由面の存在である。自由面とは、破碎の際に破壊を拘束しない面のことをいい、トンネルを発破で掘削する際にはトンネル切羽のみが自由面という1自由面状態となる。発破工法は、その卓越した破碎力により、心抜き発破等の工夫により1自由面でも掘削が可能となる。

これに対して、割岩工法では、その破碎能力は発破

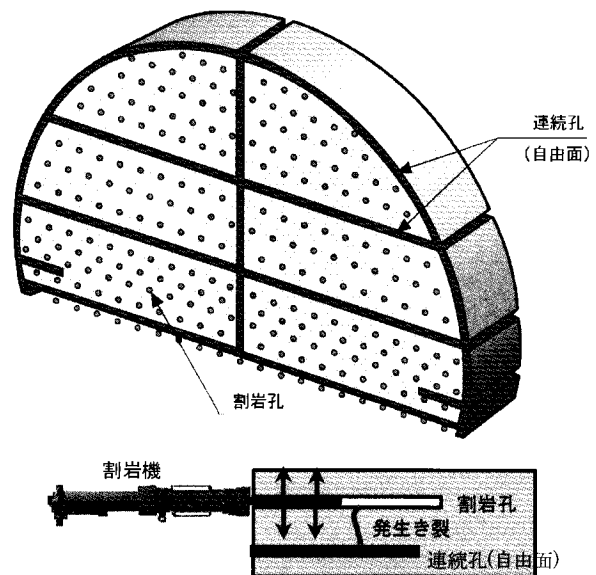


図-1 割岩工法の概念図

と比較して格段に劣るため、1自由面での破碎は不可能となる。すなわち、割岩工法では油圧くさび等を用いて切羽にき裂を発生させ掘削するが、1自由面では大きなき裂を発生させることは困難であり、2自由面以上の条件下により岩盤の移動空間が確保され、はじめて大きなき裂を発生・成長させることが可能となる。このため、人工的にトンネル切羽に自由面を形成する必要が生じる。

図-1にトンネルにおける自由面形成の概念図を示す。図に示されるように、溝状の連続孔を穿孔することにより切羽をブロック状に分割し、多自由面の状態として岩盤を破碎する。

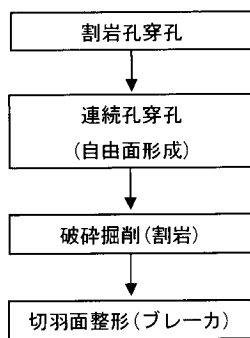


図-2 割岩工法の施工手順

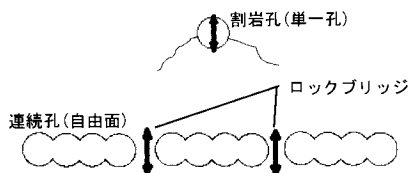
割岩工法における施工手順を図-2に示す。手順としては、まずドリルジャンボにより割岩孔および連続孔を穿孔する。次に、割岩機により自由面に近い箇所より破碎掘削を行い、最後にブレーカにより切羽面整形を行う。

## (2) 自由面の連続性

連続孔を穿孔し自由面を形成する際、自由面の連続性の確保が割岩工法の効率を考えるうえで重要な点となる。図-3に自由面概念図を示すが、図に示されるような自由面を切断する柱状の不連続面（ロックブリッジ）が残ると、これを破碎するために強大な圧縮力が必要となり、割岩効率に非常に不利となる。

自由面の形成工法としては、これまでは多連ドリル工法が主流であった。ここで、多連ドリル工法は、自由面形成のための専用機が必要であり、割岩孔穿孔のための汎用削岩機が別途必要となること、さらに自由面の連続性に劣るといった課題があった。

・ロックブリッジがある場合



・ロックブリッジがない場合



図-3 自由面の概念図

## 2. FONドリル工法

(Fast Onside & Non-Parallel method) とは

### (1) 概要

FONドリル工法とは、単一孔連続穿孔工法であり、単一孔を連続的に穿孔する場合、ビットは必ず隣接した既設孔の方向へ孔曲がりが発生する性質を用いて、ガイドとなるロッド（以下、SABロッドと称す）を既設孔に挿入し、連続孔を穿孔時にこのSABロッドに接触・打撃することにより自由面を形成する。

本工法の特長を以下に示す。

- ①汎用ドリルジャンボの油圧ドリフタ先端にガイドとなるSABロッドを取り付ける機構のため、自由面形成において専用機は不要であり、自由面形成・割岩孔穿孔・ロックボルト打設まで同一機械による施工が可能
- ②機械の大きさ、性能を問わず、どんな汎用機械にでも取り付けることが可能のため、大断面から小断面のあらゆる断面に対応でき、さらに地山性状に合わせた適切な汎用機械を選定可能
- ③ビットがSABロッドを打撃しながら連続孔を穿孔するため、形成される自由面の連続性に優れ、形成される自由面の幅も広いことより、割岩時の施工性が高い
- ④大断面トンネルの実績では、一軸圧縮強度200MPaを超過する硬質な岩盤においても、170kg超級のドリフタの使用により1ブームあたり3.7m<sup>2</sup>/h以上の自由面形成能力があり、効率的なトンネル掘削が可能

### (2) SABロッドおよび自由面形成方法

SABロッド（Spining Anti-Bend Rod）は、図-4に示すとおりブラケット取り付け部、芯材外管、先端コーンで構成されており、ガイドセル先端のブラケットに取り付ける方式である。SABロッドの外管は回転可能な構造となっており、穿孔時の接触・打撃による抵抗を減少する事により高速穿孔が可能である。

自由面形成（連続孔穿孔）手順は、図-5に示す通りであるが、連続孔穿孔の際に隣接する既設孔にSABロッドを挿入し、ビットをSABロッドに接触・打

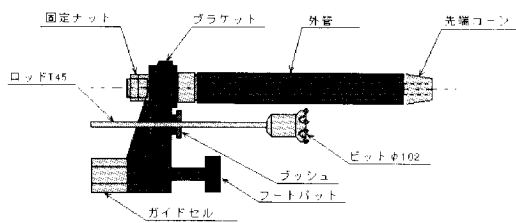


図-4 SABロッド構造図  
(油圧ドリフタのガイドセルに取り付けた状態)

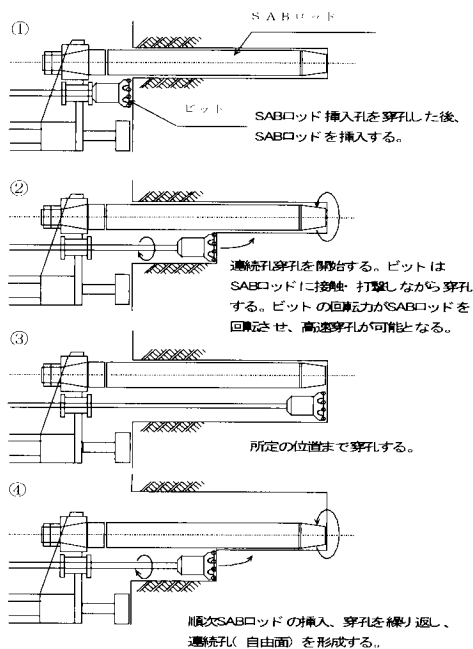


図-5 自由面形成(連続孔穿孔)手順

撃させながら穿孔するため、自由面の連続性が確保される。

また、SABロッドの回転により練り粉が既設孔側に容易に排出できるため、ドリルジャンボの最大限の穿孔能力が発揮され、単一孔穿孔と比較して1.2倍以上の穿孔効率となる。

さらに、SABロッドの取付けは、削岩機の大きさに制限が無く全てに装着可能であるため、適用断面に制限がないのが特長である。

### 3. 適用事例

#### (1) 2車線道路トンネル

広島県呉市の上二河トンネルは、呉市の中心部とベッドタウンである焼山とを結ぶ地方主要道の道路改良工事として施工されたものであり、延長550mの2車線道路トンネルである。

トンネル施工位置は住居に近接しているのみならず、トンネル路線上に多数の転石が点在しており、防

護策を講じたうえでも崩落の危険があるために全線無発破機械掘削となった。

坑口部は風化花崗岩であったため、施工当初は自由断面掘削機により掘削したものの、坑口より40m進行した時点で切羽全面にわたり一軸圧縮強度が200MPaを超過するような新鮮な花崗岩が出現し、割岩工法による全断面掘削に変更した。

これ以降、当トンネルでは、ほぼ一軸圧縮強度が150MPaを超過する地山となり、250MPa程度の非常に硬質な花崗岩も多く出現した。

掘削対象の岩盤強度が増加すると岩盤の破碎は困難となり、自由面の数を増加させる必要がある。このため、施工にあたっては強度に応じた自由面形成パターンを作成した。写真-1に示す切羽は、最も切羽が硬質となる200~250MPa時のものであり、形成した自由面は外周、水平方向に2本、垂直方向に1本、さらに両隅角部に2本の総延長61.9mとなる。ここで、当トンネルでは1進行長を1mとしたため、自由面の形成深さは1.1mとなり、全自由面形成面積は約68㎡となった。



写真-1 穿孔後の切羽(上二河トンネル)

#### (2) 高速道路避難連絡坑

昭和40~50年代に建設された高速道路トンネルでは、非常用施設の更新時期にあわせて、現行の基準に適合するよう非常用施設配置が見直されている。この結果、火災等に備えた避難連絡坑を新たに構築する、既設トンネルのリニューアル工事が順次行われている。

新たに設置する避難連絡坑は、供用中の高速道路トンネルのほぼ中間の位置に上下線を連結させる工事であり、施工中は上下線とも一車線を供用しながら掘削するため、振動・騒音等を伴う発破工法は採用できな

表-1 掘削断面積の違いによる主要使用機械の比較

使用機械	通常断面トンネル (50㎡以上)	A避難坑 (約20㎡)	B避難坑 (約10㎡)
ドリルジャンボ	3ブームホイール式 ドリフタ重量170kg超級	2ブームホイール式中折れタイプ ドリフタ重量150kg級	1ブームキャタピラ式 ドリフタ重量140kg級
割岩機	0.45㎡BH搭載油圧クサビ2台	0.45㎡BH搭載油圧クサビ1台	0.45㎡BH搭載油圧クサビ1台
ブレーカ	ブレーカ重量2,000kg級	ブレーカ重量800kg級	ブレーカ重量400kg級
ホイールローダ	サイドダンプ式山積2.3㎡	サイドダンプ式山積0.8㎡級	サイドダンプ式山積0.8㎡級

い。また、掘削対象地山の圧縮強度が140~230MPaと非常に硬質であり、ブレーカ等による掘削は不可能であったため、FONドリル工法を用いた割岩工法により施工した。

避難連絡坑は、掘削断面積が10~20㎡程度と小断面であり、施工機械が極めて限定される。表-1に、通常断面と比較した小断面トンネルでの使用機械を示す。ここで示されるように、通常断面における割岩工法では、削岩機のドリフタとしては170kg超級と能力の高いドリフタの使用を基本的に考えるのに対し、小断面トンネルでは、140kg級や150kg級といった能力の著しく劣るドリフタを使用せざるを得ない。また、

ブレーカ重量を見ても、通常断面では2,000kg級を使用するのに対し、400kg級や800kg級といった能力の低いものとなる。

これより、小断面トンネルの割岩掘削では、いかに連続性の高い自由面を形成し、割岩機に十分な能力を発揮させ、一次破碎でほぼ完全に岩盤を破碎させるかが施工上の重要なポイントとなる。この観点よりも、FONドリル工法は形成する自由面の連続性に優れていたことより、良好な結果が得られた。

写真-2に割岩状況を、写真-3にFONドリル工法による自由面形成状況を示す。



写真-2 A避難連絡坑における割岩状況

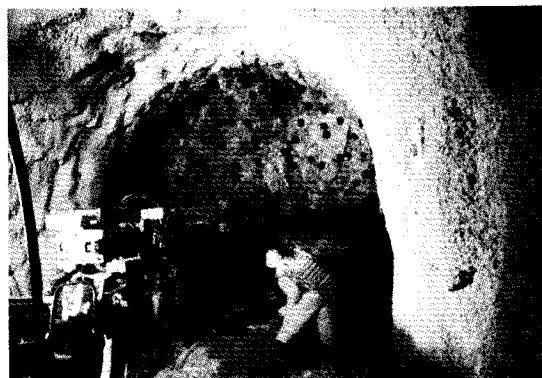


写真-3 B避難連絡坑における自由面形成状況

#### 4. おわりに

本工法は、割岩工法に必要な自由面を汎用削岩機により形成する技術であり、自由面形成効率や経済性に優れた点に特長がある。なお、本稿では割愛したが、本工法によりトンネル外周に自由面を形成後、これを心抜きとの代わりとし、全てを払い発破とする制御発破工法も確立している。

本工法の詳細については、「FON工法協会」のホームページを参照いただければ幸いである。

<http://web.mnasp.net/fon/index.html>

#### 【NETIS登録】

技術名称：FONドリル工法

登録番号：KT-980302-A

会社名：(株)フジタ、(株)大本組、日本  
ロックエンジニアリング  
(株)、藤友工業(株)

#### ●問い合わせ先

株式会社フジタ 土木本部 土木技術統括部

TEL (03) 3796-2298