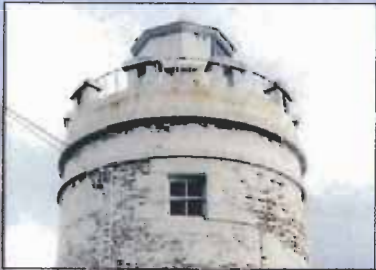


土木學會誌

土木學會誌 第83卷
1998年8月10日出版 ISSN 0021-4



Journal of the Japan Society of Civil Engineers



1998: August Vol.83

8

溝を掘り、岩を割り、硬いトンネルを静かに掘削

Tatsuya NOMA
野間達也

正会員 (株)フジタ技術研究所 土木研究部

Toshiro TSUCHIYA
土屋敏郎

フジタ・日産特定建設工事共同企業体 休山トンネル作業所長

A Quiet Tunneling Method in Hard Rock Mass
by Cutting Grooves and Fracturing Rock

硬岩トンネルを機械掘削するには

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に伴い、特に西日本において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、振動の構造物への影響、また近隣住民への建設公害の発生を考慮し、大きな振動・騒音を伴う発破工法は制限、あるいは全面的な禁止に至る場合が多い。

この場合には、硬岩トンネル掘削においても、機械掘削の採用とならざるを得ない。

硬岩を対象とする機械掘削工法には、TBMや自由断面掘削機のような単一機械掘削と、割岩工法に分類される。

TBMは、最近再注目されてきている工法であり、十分硬岩にも適用可能であるが、機械設備が重量なものとなり、ある程度の掘削長がないと経済的に成り立たない。また、もっとも一般的な機械掘削工法である自由断面掘削機は、対象となるトンネルの構成岩盤の圧縮強度が100MPaを超過すると掘削が困難となり、最近開発されてきたような硬岩対応のものはTBMと同様な問題を生じる。

このため、圧縮強度が200MPaを超過するような岩盤を坑口部等数百m程度掘削するには、大きな工法変更は不要となる割岩工法が最適なものとなる。

人工的に形成する自由面

割岩工法によるトンネル掘削とは、トンネル切羽に穿孔した割岩孔に割岩機や静的破砕剤を挿入し、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、最終的にブレーカ等で完全に岩盤を掘削する工法である。ここで重要となるのは、自由面の存在である。

自由面とは、破砕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、その卓越した破砕力により、心抜き発破等の工夫で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、その破砕能力は発破と比較して格段に劣るため、1自由面での破砕は不可能となる。すなわち、割岩工法ではなんらかの方法で切羽にき裂を発生させるのであるが、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性が生じる。

図-1にトンネルにおける自由面形成の概念図を示す。図に示すように、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砕する。地山が硬質となればなるほど大きなき裂を発生させることが困難となるため、形成する

自由面の数は増加する。この際、形成する自由面の連続性および幅は割岩効率に大きく影響を与える。図に示したように自由面を切断するようなロックブリッジが残ると、これを破砕するために強大な圧縮力を必要とする。また、形成される自由面の幅は、広いほど岩盤の移動空間を大きく確保することが可能であり、割岩に有利となる。

しかし、硬岩を対象としてこのような自由面を形成するのは、労力・時間ともに膨大なものとなる。したがって、いかに効率よく経済的に連続した自由面を形成するかが、割岩工法によるトンネル掘削の大きなポイントとなる。

新しい自由面形成工法の開発

新しい自由面形成工法を開発する際に留意した点は、上述したように効率的に連続性の優れた工法とするとともに、自由面を形成するための専用機ではなく、一般的なドリルジャンボをそのまま適用可能とした点にある。これ

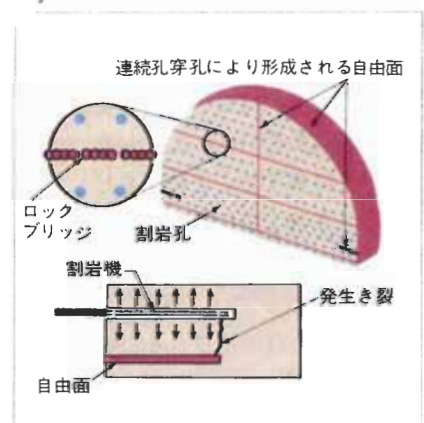


図-1 自由面の概念

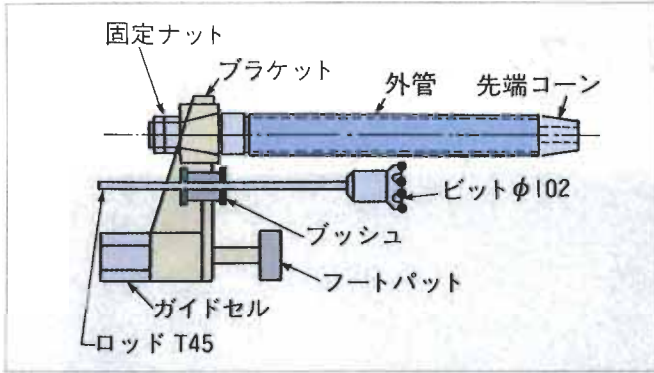


図-2 SABロッド



写真-1 連続孔穿孔状況

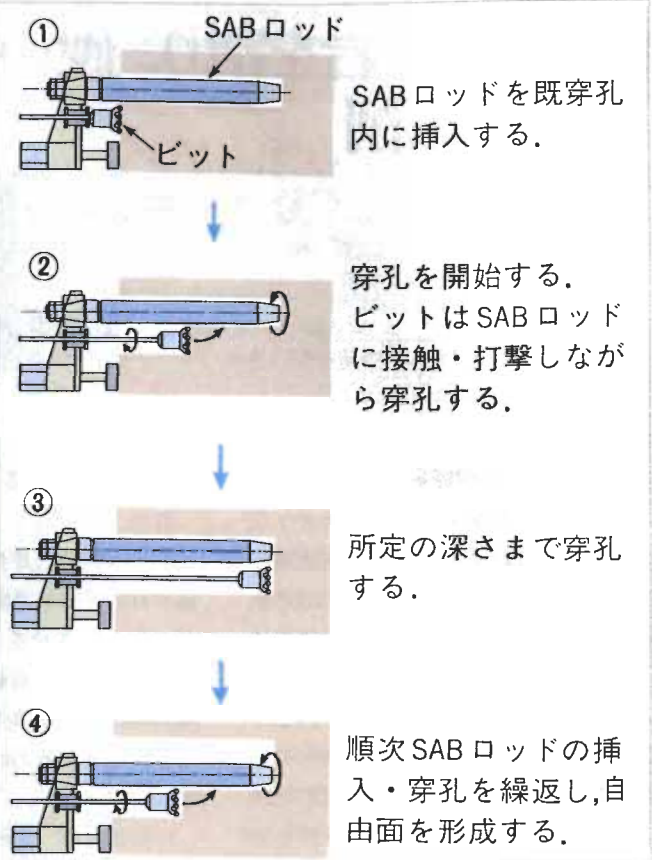


図-3 連続孔穿孔手順

により、割岩孔穿孔・自由面形成・ロックボルト孔穿孔まですべて同一の機械で施工可能となる

この観点より、新工法は、単一孔を連続的に穿孔することにより自由面を形成する工法とした。

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を生ずる。ここでは、この性質を用いて、図-2に示すようなガイドとなるロッド（以下、SAB（Spining Anti-Bend）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。ビットがSABロッドを接触・打撃することによりビットとSABロッド間に空隙を生ぜず、自由面の連続性が確保される。

このSABロッドは、図中に示したブラケットにより保持されるため、一般的なドリルジャンボに容易に取付け可能である。ここで、SABロッドの挿

入・引抜きはドリルジャンボのドリフターのスライドにより行う。

また、SABロッドは回転可能な構造であり、穿孔時の接触・打撃による抵抗を減少することにより高速穿孔が可能となり、さらにロッド・ビットの消耗も低減され、SABロッド自体も均等に摩耗するために長時間使用可能である。

図-3をもとに自由面形成手順を以下に示す

- ① SABロッド挿入孔を穿孔した後、SABロッドを挿入する。
- ② 連続孔穿孔を開始する。ビットはSABロッドに接触・打撃しながら穿孔する。ビットの回転力がSABロッドを回転させ、上述の摩耗低減効果が発揮される。
- ③ 所定の位置まで穿孔する。
- ④ 順次SABロッドの挿入、穿孔を繰り返す、連続孔（自由面）を形成する

なお、図-2に示したように、開発時

に使用したビット径は102mmであり、幅の広い自由面形成が可能となり、割岩時に有利となるが、トンネルの形状に応じてビット径75mmから使用可能である。

写真-1に連続孔穿孔状況を示す。

トンネル掘削への適用

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

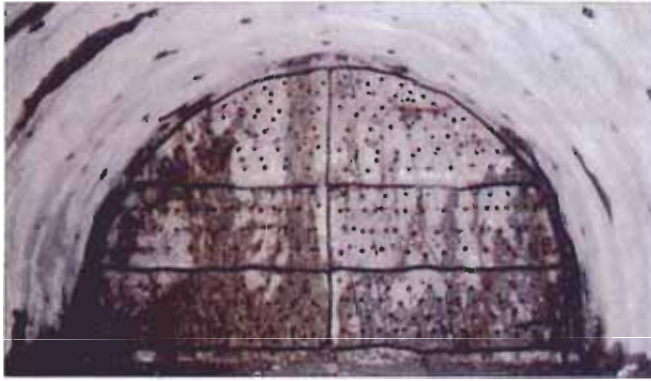


写真-2 自由面形成後の切羽



写真-3 液圧膨張式による割岩

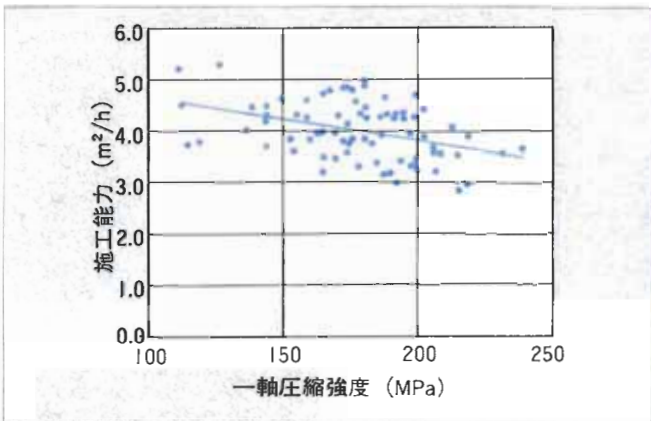


図-4 自由面形成能力



写真-4 フレーカによる二次破碎

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、一軸圧縮強度が150MPa程度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。

前述したように、岩盤の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-2に示す切羽は、もっと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、さらに両側角部に2本の総延長61.9mとなった。ここで、当トンネルでは1進行長を1mとしたため、形成自由面深さは1.1mとなり、全自由面形成面積は約68m²となる。

図-4に、本工法による1ブームあた

りの自由面形成能力を示す。ここで、施工時に使用したドリルジャンボは3ブーム・ドリフター重量150kgf級のものである。

この図に示すように、一軸圧縮強度が200MPaを超過するような岩盤に対しても、本工法により1ブームあたり3.5m²/h以上の施工能率が確保されている。この施工能率、および3ブームジャンボの使用により、1進行長あたりの自由面形成時間は6時間足らずとなる。

自由面形成後、写真-3,4に示すように割岩（ここでは液圧膨張式を採用）、ブレーカによる二次破碎を行い、掘削終了となる。

本工法の特長と今後の展望

以上、新しい自由面形成工法の概略を述べたが、本工法の特長を以下に示す。

①自由面形成に専用機は必要なく、一

般的なドリルジャンボによりすべての穿孔作業が可能である。

②圧縮強度200MPaを超過するような岩盤でも、3.5m²/h以上の自由面形成能力がある

③形成する自由面の連続性に優れ、効率的な割岩施工が可能である。

本工法の問題点としては、自由面形成効率はドリルジャンボに搭載するドリフターの能力に依存する点にある。しかし、このような無発破トンネル掘削では、一般的に高性能のドリルジャンボを使用する傾向にある。

今後、無発破のみならず制御発破等にも、本工法を活用させる予定である。

参考文献

- 1—(社)日本建設機械化協会：建設機械化技術・技術審査証明報告書「連続孔穿孔機構装置(PONドリル工法)」、1996
- 2—野間達也・北屋敏郎・渡田光敏：新しい自由面形成と割岩方法による硬岩トンネルの機械化掘削。土木学会論文集、No.567/VI-35、pp.81～90、1997