

10. 連続孔による新しい自由断面形成工法 “FON ドリル工法”

(株)フジタ：川崎 俊彦

1. はじめに

都市部近郊でトンネルを掘削する場合、発破による騒音・振動の影響を考慮し、機械掘削による無発破工法を採用することが多い。圧縮強度200MPaを越える花崗岩では、自由断面掘削機械のような従来の単一機械では施工が不可能である。この場合、トンネル切羽に自由面を形成した後、割岩工法によりトンネルを掘進する工法が採用される。自由面形成方法は、種々開発されているものの、専用機を必要とすることや形成効率・自由面の連続性に問題を残していた。本文では、新たに開発した自由面形成方法として、汎用の穿孔機械を用い、従来の方法よりも効率が高く、連続性の精度も優れている連続孔穿孔方法（FONドリル工法）について述べる。

2. 施工概要

図1に本工事で行っている施工順序を示す。

トンネル掘削における機械掘削工法には、割岩工法と自由断面掘削機あるいは油圧ブレーカなどの単一機械による掘削工法およびTBM工法に分類される。単一機械による掘削工法は、施工機械の能力に限界があり、一軸圧縮強度100MPa程度以上の硬岩になると施工性、経済性に問題がある。一方、TBM工法は、硬岩トンネルの掘削用ではあるものの、地質がある程度均質、良好で、中小断面の長大トンネルの掘削に限定される。従って、硬岩地山に対する汎用性のある機械掘削工法としては、割岩工法が適用される場合が多くなってきている。



図-1 施工順序

3. 自由面の意義

割岩工法における自由面は発破工法の心抜きに相当するものであるが、割岩工法においては破碎に用いられる割岩機のエネルギーは発破工法に比べて著しく小さく、このため自由面形成が特に重要な点となる。ここで、割岩工法とは、岩盤の引張強度が圧縮強度の1/8～1/20程度であることを利用し、割岩孔の壁面に割岩機により力を与え、自由面に向けて引張応力を発生させることにより岩盤を破碎する工法である。従って自由面が連続せず柱状の不連続面（以下ロックブリッジと称す）が

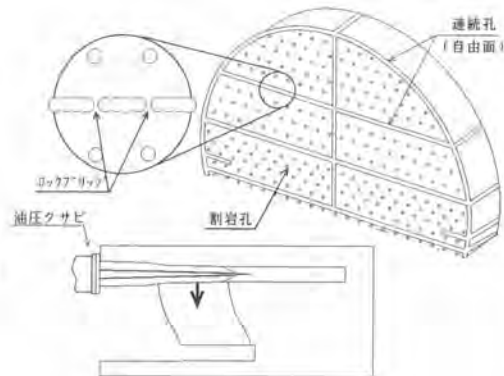


図-2 自由面概念図

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、割岩に不利となる。このため、自由面を形成するときロックブリッジを残さず施工する事が特に重要となる。図-2に自由面形成の概念図を示す。

4. 自由面形成連続孔穿孔（FONDリル工法）

1) SABロッドの構造

SAB (Spining Anti Bend)ロッド本体は、図-3に示すようにブラケット取り付け部、芯材、外管 (SCH80×80A)、先端コーンで構成されている。SABロッドの外径は89mmであり穿孔ビット径よりも一回り小さい。回転可能な部分は、外管と先端コーンでありそれぞれ単独に回転する。先端コーンは芯材にボルト止め構造となっており、外管の抜け落ち防止をすると同時に、外管が消耗したとき簡単に取り外すことによって外管の交換を可能にしている。外管は、芯材に差し込むだけの単純な構造となっている。外管と芯材は、既製品の厚肉パイプを使用しており、任意の長さに切断し、SABロッドを制作することが可能である。従って、材料のロスが少なく経済性に優れており、実施に合った長さのSABロッドの制作ができる。その他の部材は特注品となるが先端コーン以外は殆ど消耗することがなく、このことからFONDリル工法が経済的であると言える。

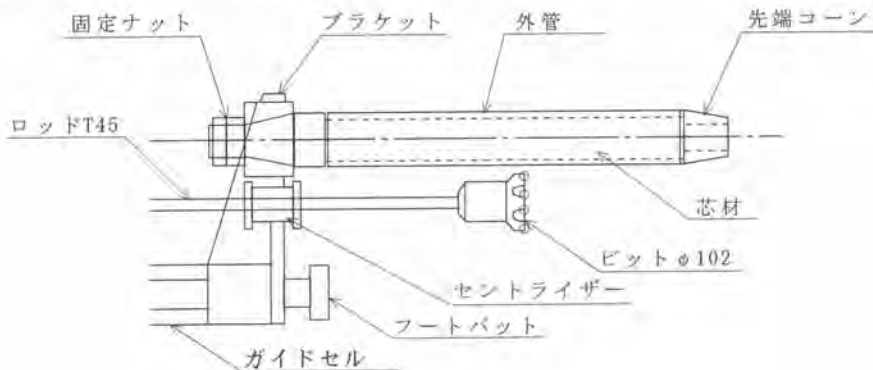


図-3 SABロッド構造図

連続孔を穿孔する際、SABロッドとビットは平行かつ固定されていることが重要である。このため、ブラケット取り付け部をテーパ構造とし、ダブルナットで締め付けることにより、簡単に平行かつ堅固に固定することができる。ここで、SABロッド挿入・引き抜き時にはかなりの力が加わるため、ブラケットとガイドセルは頑丈に固定しておく必要がある。

2) FONDリル工法の施工

FONDリル工法 (Fast Onside & Non-Parallel drilling method) は、汎用削岩機の能力を最大限に発揮するために、単一孔を連続的に穿孔して自由面を形成する方式であり、連続孔穿孔時にロッド・ビットが隣接する既設孔方向に曲がりやすい性質を利用して開発した。

連続孔穿孔手順は、まずSABロッドを既設孔に挿入し、穿孔を開始する。このとき、ビットは孔曲がりによってSABロッドに接触・打撃しながら穿孔すると同時に、ビットの回転力はSABロッドを回転させながら所定の位置まで穿孔する。順次SABロッドを挿入して穿孔を繰り返し連続孔を形成していく (図-4)。

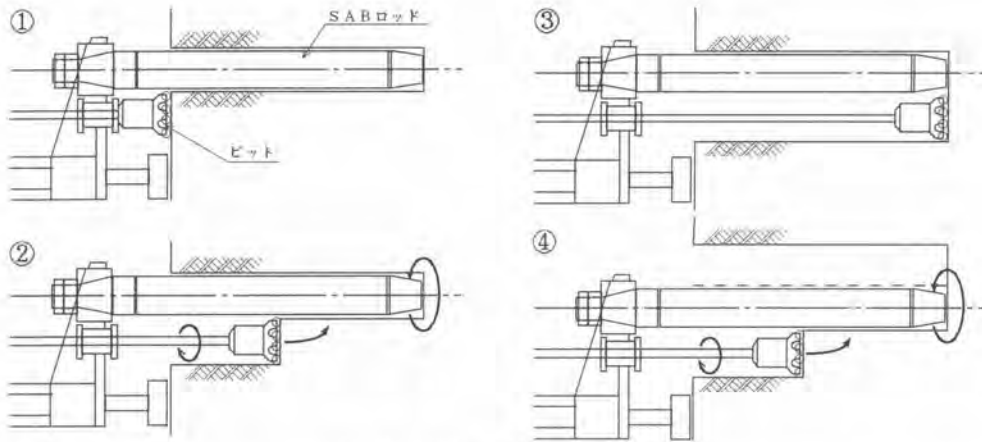


図-4 連続孔穿孔手順

ビットをSABロッドに接触・打撃させることによりビットとSABロッド間にロックブリッジが残らず、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穿孔時のビットとの接触・打撃による抵抗は減少し、高速穿孔を可能としている。さらに、ビットの消耗も低減され、SABロッド自体も均等に磨耗するために長時間使用可能となる。SABロッドは、ガイドセル先端のブラケットに取り付ける方式であり、ガイドセルのスライドにより挿入・引き抜きを行う。

この工法の特徴は、高い施工能力だけでなく、SABロッドを簡単に脱着できる点にもあり、割岩孔やロックボルト打設を同一機械で施工する事により、坑内の施工機械の削減を図れる。

5. 実施工への適用

1) トンネル切羽への適用例

図-5に実トンネル施工における穿孔パターン例(Bパターン)を示す。1切羽当たりの連続孔延長は62mであり、割岩孔数を合わせた総穿孔数は約1,000孔となり、穿孔作業が掘削サイクルの半分を占める。掘削断面 約 70m^2 に対して総穿孔容積は $7\sim 10\text{m}^3$ となり、地山の10%以上をクリ粉として排出することになる。

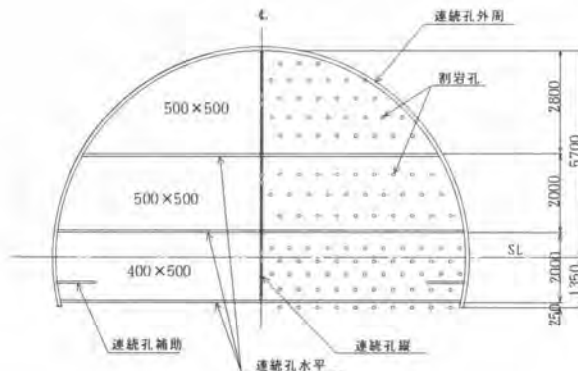


図-5 連続孔穿孔パターン図



写真-1 連続孔、割岩孔穿孔完了

1 サイクル当たりの掘進長を1mとすれば、連続孔深さは、1.1m必要である(写真-1)。

FONドリル工法は、前述したように連続孔と割岩孔を同一機械で施工するため、機械の入れ替えを必要とせず順次割岩孔穿孔作業から連続孔穿孔作業に移行できる利点もあり、ロスが少ない。この穿孔作業時間の短縮を実現したことは、ジャンボへの負担を軽減したことにもなる。

2) 連続孔穿孔能力

本報では、連続孔の穿孔能力を定量的に表現するために、単位時間当たりの連続孔穿孔面積を用いる。図-7は連続孔延長62m深さ1.1mの際の連続孔穿孔能力と、岩の一軸圧縮強度の関係を示したものである。連続孔穿孔能力は、連続孔穿孔開始から完了までの時間と施工面積から割り出したものである。従って、これにはノミ移動やブーム移動を含んでおり、1切羽の総穿孔時間を平均化したものとなっている。

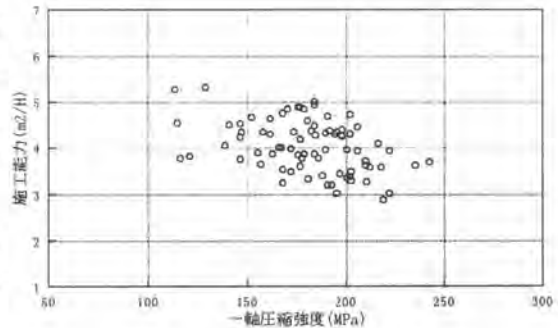


図-7 一軸圧縮強度-施工能力

現段階では、連続孔穿孔能力は岩の一軸圧縮強度150~250MPaにおいて1ブーム当たり3.5~4.2m²/hの実績を残している。ここで、既存の工法では本トンネルのような200MPaを超える超硬岩での施工例は無く、岩の一軸圧縮強度150MPa程度以下で1.7m²/h程度であり、割岩作業に不利となるロックブリッジを残さず施工することは完全に解決されていない。これに対して、このFONドリル工法はロックブリッジを残さず完全な連続孔を形成でき、なおかつ2~3倍の施工能力となっている。

6. おわりに

FONドリル工法を開発することにより、以下のことが実証された。

- ①SABロッドは脱着可能な構造となっているため、掘削機械の削減を図れる。
- ②連続孔施工能力1ブームあたり3.5~4.2m²/hと高速施工が可能である。
- ③ロックブリッジが残らず、割岩作業に有効な自由面を形成できる。
- ④SABロッドは、殆どのドリルジャンボに取り付けることが可能であり、汎用性に優れている。
- ⑤消耗品のほとんどが市販されている規格品であり、安価で経済性に優れている。

硬岩トンネル掘削における割岩による機械掘削工法は、都市近郊でのトンネル施工が増加する中で、ますます増加すると思われる。このFONドリル工法を開発し硬岩における高精度の自由面の形成、高速施工が実現できたことは、今後のトンネル割岩工法の施工に貢献できるものと確信している。

最後に、今回の工法が今後行われる同様な施工の一助となれば幸いである。