

# 割岩工法による小断面トンネル掘削

＝FONドリル工法による自由面形成で硬岩トンネルを割岩掘削＝

(株)フジタ 野間 達也  
Tatsuya Noma

## 1. はじめに

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、現行の非常用施設設置基準に適合するよう、設備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、トンネルのほぼ中間の位置を、1車線を供用しながら掘削する工事となる。このため、振動・騒音等を伴う発破を使用できず、機械掘削工法が採用されるが、地山は硬質であることが多く、ブレーカや自由断面掘削機などの単一機械による掘削では不可能であり、機械掘削工法の中でも割岩工法が適用される。

本報で述べる2現場の避難連絡坑は、片側一車線規制の中、掘削断面が約10～20m<sup>2</sup>の小断面トンネルを本線にほぼ直角に構築する工事であり、使用機械の大きさが極めて限定された。これより、機械の大きさを問わず汎用の削岩機に装着して使用できる、単一孔連続穿孔工法（以下、FONドリル工法）を用いることにより自由面を形成し、割岩掘削の施工が可能となった。

ここで、このような小断面トンネルにおける割岩掘削は、これまで施工事例がほとんどないために歩掛かりが明らかではなく、積算の基準が明確化されていなかった。以上より、本報ではこのような小断面掘削における施工事例を述べ、作業性・経済性等について示す。

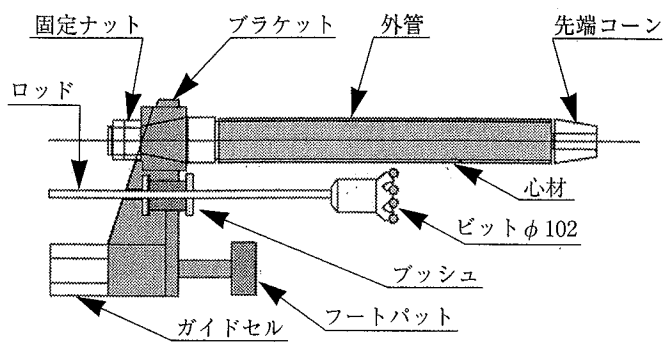
## 2. 割岩工法

割岩工法によるトンネル掘削とは、トンネルに人工的な自由面を形成後、トンネル切羽に穿孔した割岩孔に割岩機や静的破碎剤を挿入し、岩盤に引張応力を作用す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、通常割岩機としては油圧クサビが採用される。この油圧クサビの中でも、手持ち式の油圧クサビ（商品名ダグダ）と、0.4m<sup>3</sup>程度の油圧ショベルを母台として搭載される大型油圧クサビ（商品名ビッグー）がある。手持ち式の油圧クサビは、φ45mm程度の穿孔径であり、手持ち式であるため小断面トンネルでは使用しやすいものの、1回の有効割岩長さが30cm程度であり、また切羽に作業員が近付く必要がある、小断面とはいえ上半掘削時には高所作業となる、など、効率面や安全性に問題がある。大型油圧クサビは、φ100mm程度と大口径の穿孔が必要なものの、有効破碎長さが1m以上あり、また母台からの遠隔操作のため安全性が高い。ここで、10m<sup>2</sup>程度の小断面トンネルでも坑口さえ拡張すれば坑内への進入は可能であり、大型油圧クサビを使用した方が効率性・安全性で有利となる。

一方、自由面の形成工法としては、多連ドリル工法と単一孔連続穿孔工法がある。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。また、単一孔連続穿孔工法の中でも、最近開発された高剛性削孔ロッドを使用する方式は、大型の削岩機を使用する前提のものと考えられ、このような小断面のトンネルへの搬入は不可能である、などの課題がある。

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。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、ドリフタ先端にブラケットにより保持される構造であり、一般的なドリルジャンボに容易に取り付け可能である。第1図にSABロッド装着状況を、第2図に連続孔穿孔手順を示す。



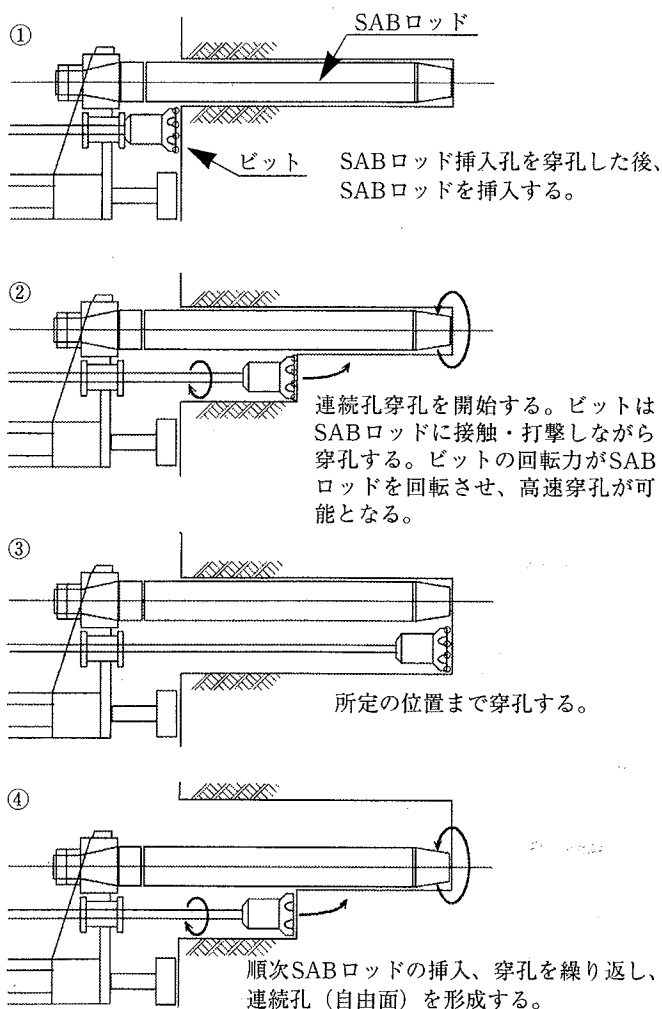
第1図 SABロッド

### 3. 施工状況

ここでは掘削断面積が約20m<sup>2</sup>の避難連絡坑（以下、A避難連絡坑）、約10m<sup>2</sup>の避難連絡坑（以下、B避難連絡坑）について示す。

前述したように、これらのトンネルは小断面のため、使用機械が極めて限定される。第1表に、通常の断面と比較した、両避難連絡坑で使用した主要機械を示す。ここで示されるように、通常の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超級を使用し、この中でもいわゆる「ロケットブーマー」と称されている能力の高いドリフタの使用を基本的に考える。これに対して、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、いかに連続性の高い自由面を形成し、大型油圧クサビに十分な能力を発揮させ、一次破碎（割岩）でほぼ完全に岩盤を破碎させるかが施工上の大きなポイントとなる。



第2図 連続孔穿孔手順

第1表 使用した主要機械

使用機械	大断面トンネル (50m <sup>2</sup> 以上)	A避難坑 (約20m <sup>2</sup> )	B避難坑 (約10m <sup>2</sup> )
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	0.45m <sup>3</sup> BH搭載油圧クサビ2台	0.45m <sup>3</sup> BH搭載油圧クサビ1台	0.45m <sup>3</sup> 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2.3m <sup>3</sup>	サイドダンプ式山積0.8m <sup>3</sup> 級	サイドダンプ式山積0.8m <sup>3</sup> 級

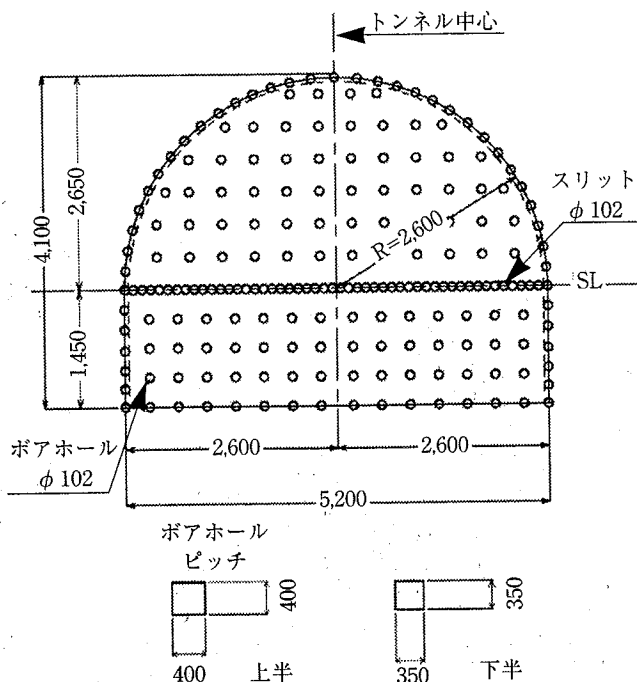
(1) A避難連絡坑

A避難連絡工は、供用中の高速道路トンネルの上下線間を結ぶ全長58.2mのトンネルである。ここで、本坑は在来工法で構築されていることもあり、避難連絡坑を掘削するにあたり、事前補強として裏込め注入・事前補強ロックボルト等を実施した。

避難連絡坑の構成地山は、坑口部ではき裂が発達した圧縮強度100MPa程度の流紋岩であったが、トンネルの進行とともに岩盤の圧縮強度は高くなり、中心部では圧縮強度170～230MPaと非常に強度の高い流紋岩であった。

坑口部より8mまでは、大型油圧クサビは坑内に搬入が不可能であった。このため、この区間はダルダによる掘削となるが、岩盤の圧縮強度が100MPa程度のき裂の多い地山であり、ダルダでも掘削可能であった。しかしながら、前述したようにビッガーの方が破碎効率・安全性に優れていたため、8m以降はビッガーを使用した。

この場合でも、岩盤の圧縮強度が100MPa程度のき裂の多い地山では、自由面の必要性は認められず、ビッガーによる一次破碎と800kg級のプレーカにより掘削可能であったが、18m以降では、前述したような圧縮強度が150MPaを超過するような岩盤が出現し、自由面を形成する以外には効果的な掘削方法は見あたらなくなった。第3図にこの場合の穿孔パターンを示す。自由面形成は、基本的にSL付

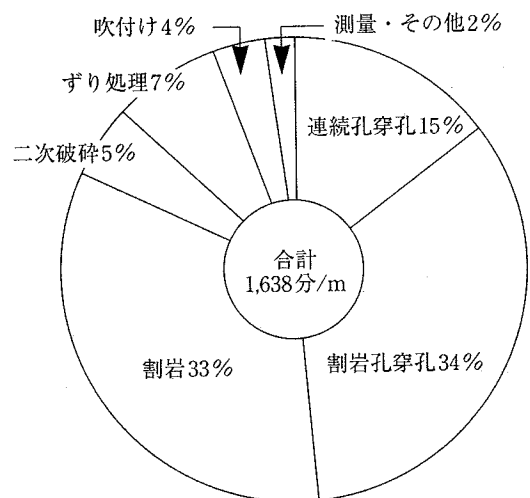


第3図 A避難連絡坑穿孔パターン

近に水平方向に1本のみとしており、通常断面(50m<sup>2</sup>以上)のトンネルではトンネル外周にも自由面を形成する方が破碎効率は高いのに比較して自由面が少ない。これは、掘削対象断面が小さいことが最大の理由であるが、外周に自由面を形成する場合、ドリフタは切羽に対して垂直に穿孔することは不可能であり、差し角が生じる。この差し角は余掘となるが、特に小断面トンネルの場合はその形状より差し角が大きくなり、余掘が増加することを避けた意味合いもある。ただし、自由面の形成量を減少させた代わりに割岩孔の穿孔間隔を狭め、通常断面では最小でも400mmと設定するところを今回は下半掘削時には350mm、外周は200mm程度とした。

第4図にA避難連絡坑における自由面を形成した場合のサイクルタイムの一例を示す。図より、作業時間における約半分は穿孔、1/3に割岩に費やされていることが示されている。

なお、写真1に割岩状況を示す。



第4図 A避難連絡坑サイクルタイムの一例

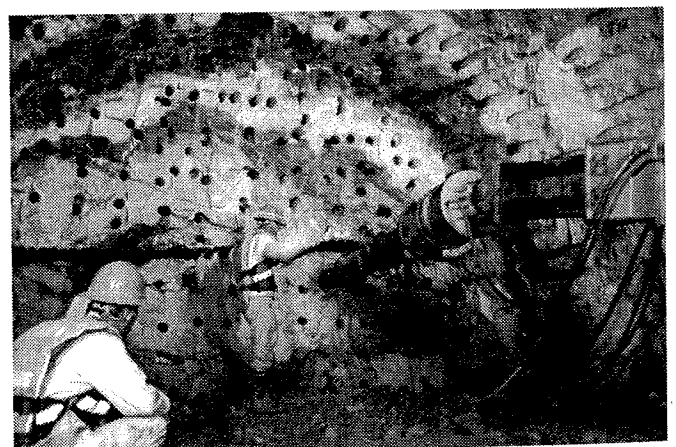
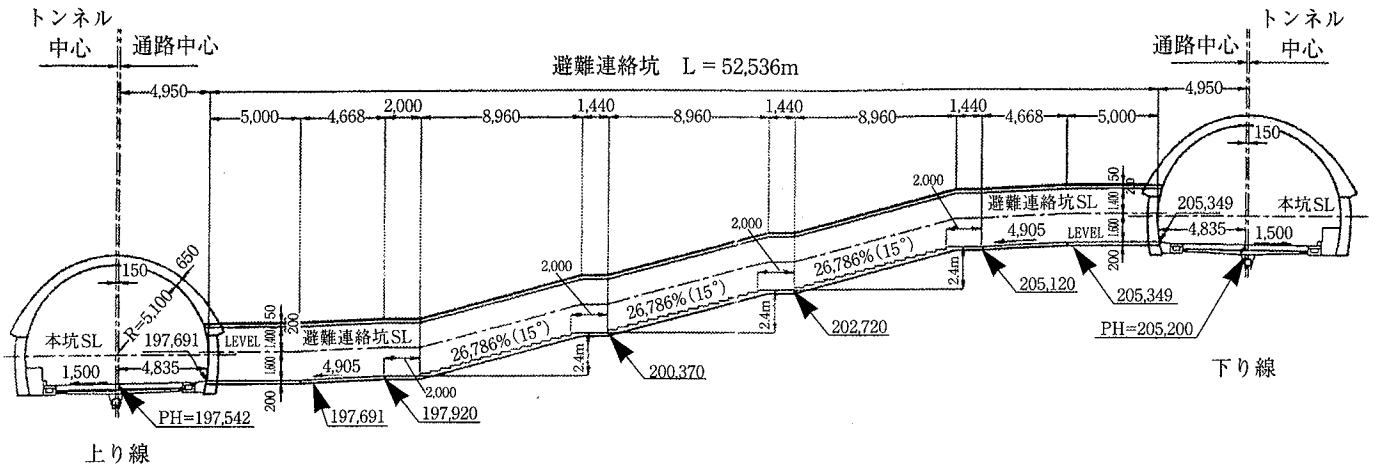


写真1 ビッガーによる割岩状況



第5図 B避難連絡坑縦断面図

(2) B避難連絡坑

B避難連絡坑は、供用中の高速道路トンネルの上下線間を、緊急時避難用に結ぶ長さ52.5mの避難連絡坑である。第5図にトンネル縦断面図を示すが、本避難連絡坑は上下線の高低差があり、人道用の連絡坑として設計されたため掘削断面積が10.2m<sup>2</sup>と小断面となった。

この避難連絡坑においても、本坑は在来工法で構築されていたため、避難連絡坑を掘削するにあたり、事前補強として裏込め注入・事前補強ロックボルト等を実施した。

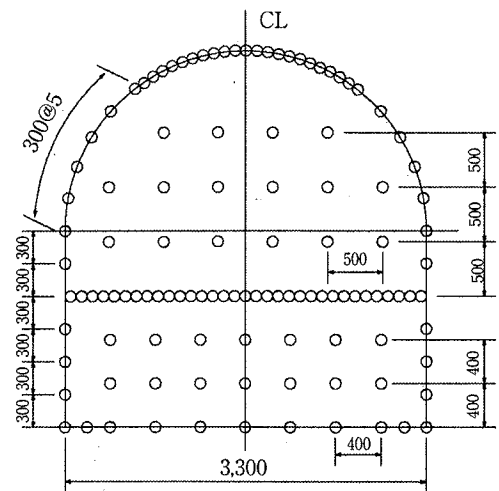
当避難連絡坑の地質は、本坑掘削時のボーリング調査より当初は圧縮強度100MPa程度の粘板岩と砂岩の互層と想定されたが、実際に掘削したところ、部分的に粘板岩は認められたものの大部分が圧縮強度140～230MPaの硬質砂岩であった。

第5図に示されるように、本トンネルの上下間の高低差は約8mあるため、避難坑の大部分が斜坑となる。ここで、割岩工法では穿孔数が多数となり、多量の穿孔水を使用することが予想された。これより、登り勾配の方が自然排水となり施工に有利と判断し、坑口を上り線側とした。

B避難連絡坑においても、Aと同様に坑口から8m地点まではダグダによる掘削とし、8m地点まで到達した時点で坑口を拡幅し、大型油圧クサビの坑内への搬入を可能とした。

第6図に、B避難連絡坑における穿孔パターンを、写真2に連続孔穿孔状況を示す。本避難連絡坑でも、SL下における水平方向のみの自由面形成を基本としたが、非常に硬質な岩盤が出現した際には、

登り勾配であることも配慮して、天端部外周にも2m程度の自由面を形成した。



第6図 B避難連絡坑における穿孔パターン

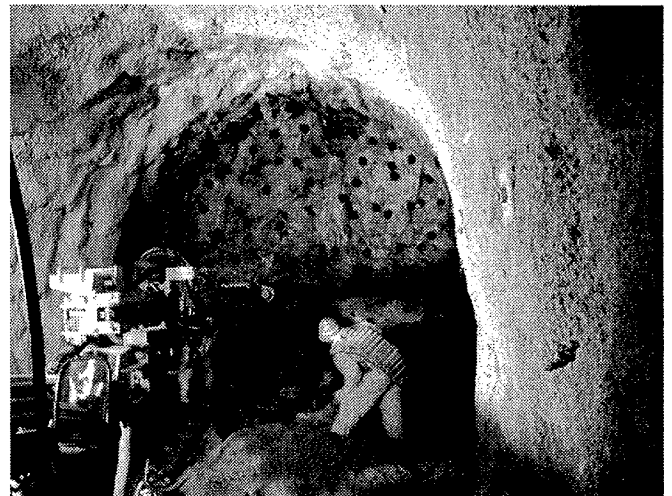
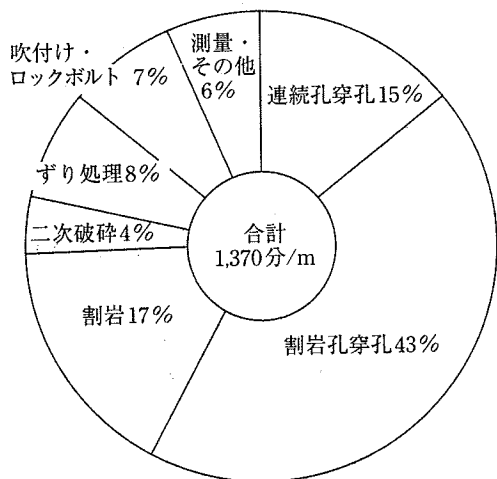


写真2 自由面形成状況

第7図に当避難連絡坑におけるサイクルタイムの一例を示す。図に示されているように、穿孔に費やした時間がほぼ60%であり、これに対して割岩時間は20%に至っておらず、A避難連絡坑の傾向とは異なる。これは、穿孔時間については、A避難連絡坑は2ブームドリルジャンボを使用したのに対し、B避難連絡坑では1ブームであり、ブーム数が異なることおよびドリフタ重量の差による穿孔能力の差によるものと考えられる。これは、A避難坑では割岩孔の穿孔に4~5分/m程度であったのに対し、B避難連絡坑では割岩孔穿孔に5~6分/m程度要していた。対象とした地山の地質は異なるものの、圧縮強度はほぼ同等であることより、サイクルタイムがいかにドリフタ能力に依存するかが明らかである。ここで、170kg超級のドリフタでは、このような硬岩に対しても割岩孔穿孔に要する時間は2分/m以下である。従って、事前にドリフタ能力を正確に把握することが、この種の工事における積算計画の立案での重要なポイントとなる。なお、割岩時間の差は、掘削面積の違いによるものと考えられる。

いずれにしろ、このような小断面トンネルを割岩



第7図 B避難連絡坑サイクルタイムの一例

掘削する場合、連続性の優れた自由面を形成することにより、初めて可能となるものといえる。

#### 4. おわりに

本報では、硬岩小断面トンネルにおける割岩掘削の施工事例について示した。この種のトンネルでは、連続性の高い自由面形成が不可欠なこと、また掘削効率は削岩機の性能に大きく依存すること、が明らかとなった。

#### 【筆者紹介】

野間 達也

(昭和32年10月26日生)

(株)フジタ 技術センター 土木研究部部长

〒243-0125 神奈川県厚木市小野2025-1

TEL: 046-250-7095 FAX: 046-250-7139

E-mail: tnoma@fujita.co.jp

<主なる業務歴および資格>

博士(工学)、技術士(建設部門)

株式会社フジタ

<代表者名> 取締役社長 網本勝彌

<本社住所>

〒151-8570 東京都渋谷区千駄ヶ谷4-25-2

TEL: 03-3402-1911 FAX: 03-3404-8477

URL: <http://www.fujita.co.jp/>

E-mail: info@fujita.co.jp

<資本金> 250億円(2005年3月末現在)

<年商> 2,931億円(2004年度)

<従業員数> 2,281名(2005年3月末現在)

<事業内容および会社近況>

建設工事の請負、企画、設計、監理およびコンサルティング業務など。確かな建設技術に加え、「都市再生事業」や「環境関連事業」、「建設ライフサイクル事業」に豊富なノウハウや技術を保有しています。また、重点分野(商業、物流、医療福祉、工場)の営業強化など、選択と集中の実践による収益基盤の強化を図っていきます。

広告製品のカタログ等の資料は、本誌の「**カタログ・資料請求用紙**」でご請求下さい。

編集部では、到着した資料請求用紙を10日毎に処理し、広告主へお知らせします。

広告主より直接読者へその資料が送られますが、お急ぎの場合は直接広告主へご連絡下さい。