フジタ技術研究報告
第 41 号　2005 年

# 小断面トンネルにおける割岩掘削

野 間 達 也　　山 口 耕 二 [*1]
石 田　　敬 [*2]

## 概　　要

供用中の高速道路において,片側 1 車線規制の中,上下線間を連結させる避難連絡坑を構築した。避難連絡坑のため,掘削対象となる断面は 10～20m$^2$と小断面であり,施工機械に大きな制限を受けた。さらに,掘削対象となる岩盤は圧縮強度が 200MPaを超過するような岩盤に対し,供用下のため発破工法が使用できず,割岩工法による施工となった。このため,自由面形成方法としてFONドリル工法を採用し,大型油圧クサビとの組み合わせにより掘削することが可能であった。

## Tunneling by Rock Fracturing Method under Small Cross Section Area

## Abstract

Recent projects have required the construction of evacuation tunnels to connect the up and down lanes of existing twin-bore road tunnels. These evacuation tunnels have small cross-sectional areas (10-20 m$^2$) and, due to the requirement to keep one lane open in the existing tunnels, blasting cannot be used – even though rock strength can be over 200MPa　In addition the limited cross-section also limits the use of construction machines.

Under such conditions, this paper examines excavation by rock fracturing using the FON drilling method and hydraulic wedges.

キーワード: 山岳トンネル,割岩工法
自由面

＊1 北陸支店 土木部
＊2 横浜支店 土木部

## §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,上下線を連結させるために,上下線とも一車線を供用しながら掘削する工事となる。このため,振動・騒音等を伴う発破工法を使用できず,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$^2$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無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砕剤を挿入し,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(商品名ダルダ)と,0.4m$^3$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(商品名ビッガー)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,有効破砕長さが 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$^2$程度の小断面トンネルでも坑口さえ拡幅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[1]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[2]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を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ドリフタ先端にSABロッドと呼ばれるガイドとなる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て施工が可能のため,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在来工法より広いため,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$^2$/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

図1に SAB ロッド装着状況を,図2に連続孔穿孔手順を示す。

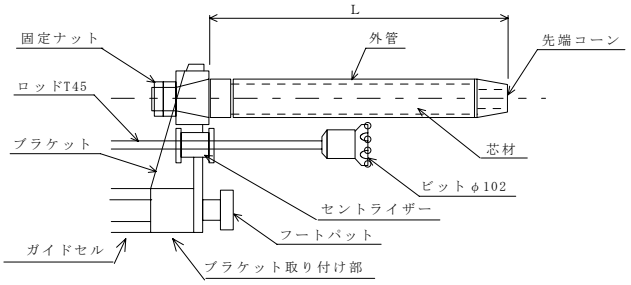


図1 SABロッド装着状況

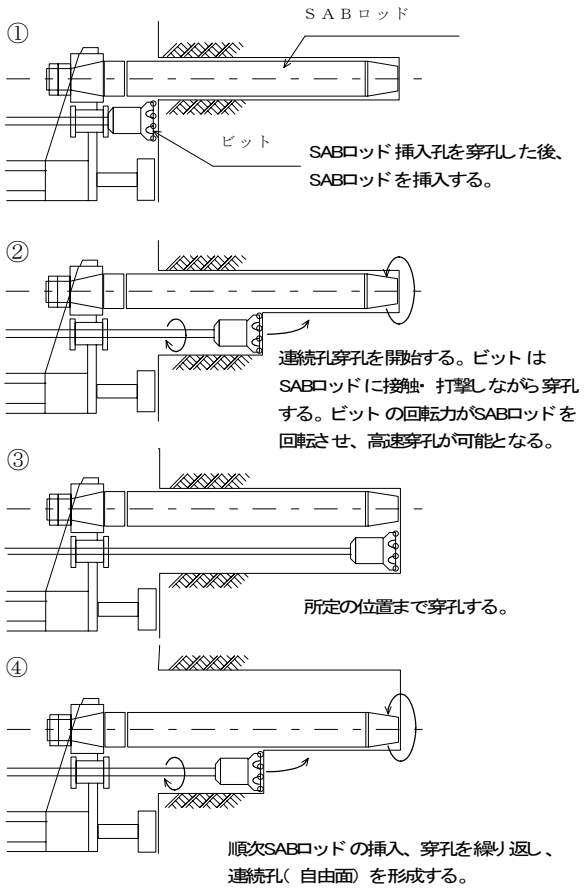


図２ 連続孔穿孔手順

## §3. 施工状況

ここでは掘削断面積が約 20m$^2$の避難連絡坑（以下A避難連絡坑），約 10m$^2$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であり，また図3に示す A 避難連絡坑における削岩機の機械配置のように，片側一車線を供用しながらの施工のため，施工機械は規制車線から直角にこの小断面避難連絡坑に搬入する必要があり，使用機械が極めて限定される。表1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，一次破砕（割岩）でほぼ完全に岩盤を破砕させるかが施工上の大きなポイントとなる。

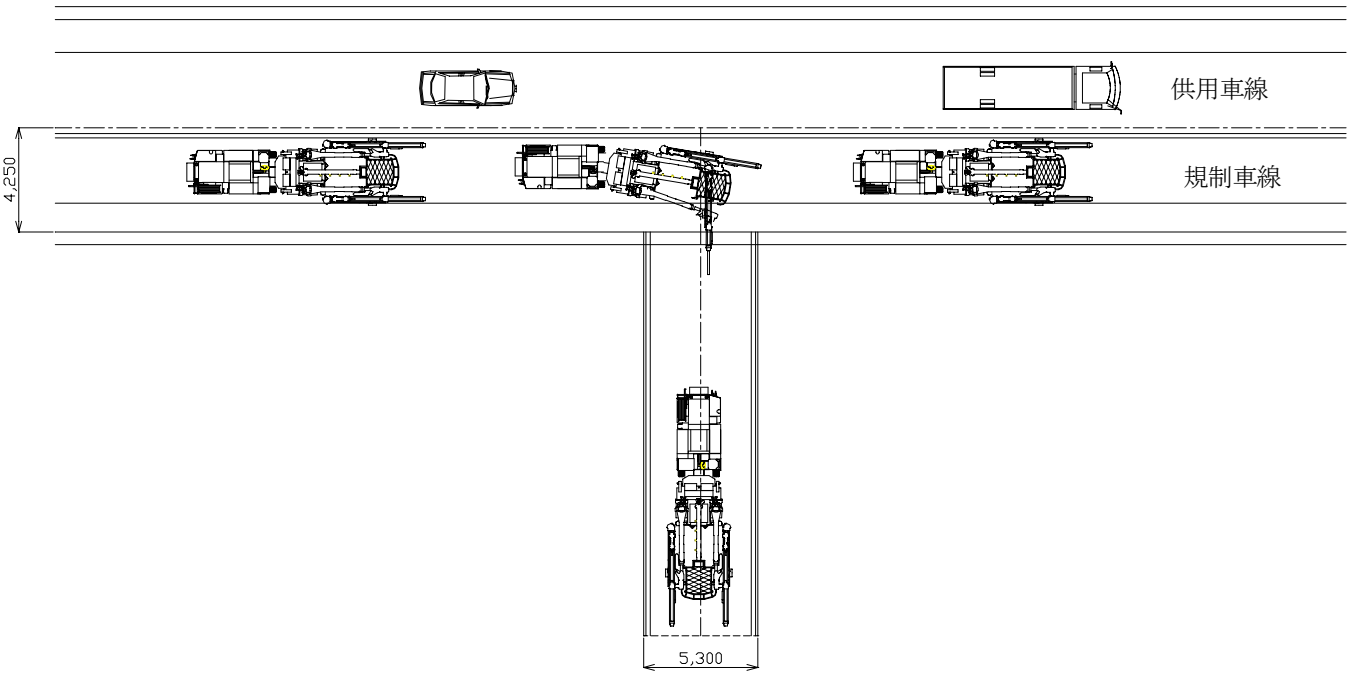


図3 A 避難連絡坑における削岩機の機械配置

表1 主要使用機械の比較

| 使用機械 | 大断面トンネル（50m$^2$以上） | A避難坑（約20m$^2$） | B避難坑（約10m$^2$） |
|---|---|---|---|
| ドリルジャンボ | 3ブームホイール式<br>ドリフタ重量170kg超級 | 2ブームホイール式中折れタイプ<br>ドリフタ重量150kg級 | 1ブームキャタピラ式<br>ドリフタ重量140kg級 |
| 割岩機 | 0.45m$^3$BH搭載油圧クサビ2台 | 0.45m$^3$BH搭載油圧クサビ1台 | 0.45m$^3$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 | ｻｲﾄﾞﾀﾞﾝﾌﾟ式山積2.3m$^3$ | ｻｲﾄﾞﾀﾞﾝﾌﾟ式山積0.8m$^3$級 | ｻｲﾄﾞﾀﾞﾝﾌﾟ式山積0.8m$^3$級 |

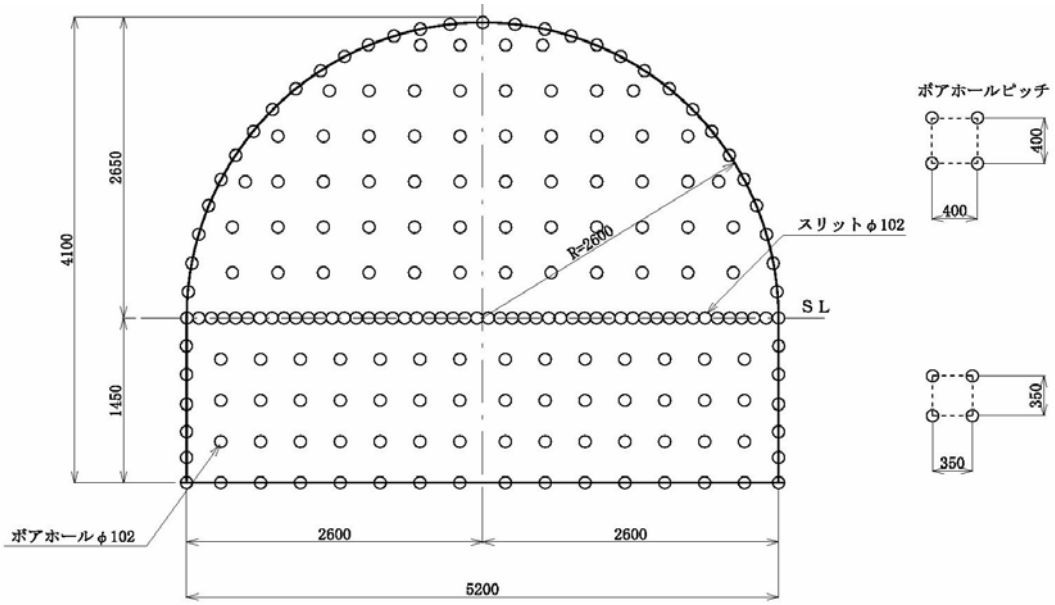


図4 A 避難連絡坑における穿孔パターン

### 3.1 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砕効率・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砕と 800kg 級のブ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。図4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付近に水平方向に一本のみとしており,通常断面（50m$^2$以上）のト

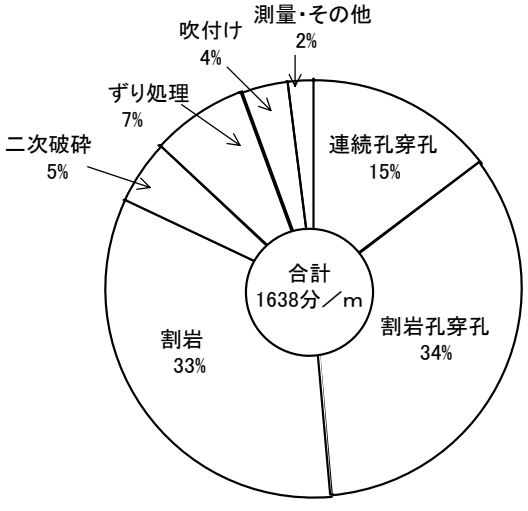


図5 A 避難連絡坑におけるサイクルタイムの一例

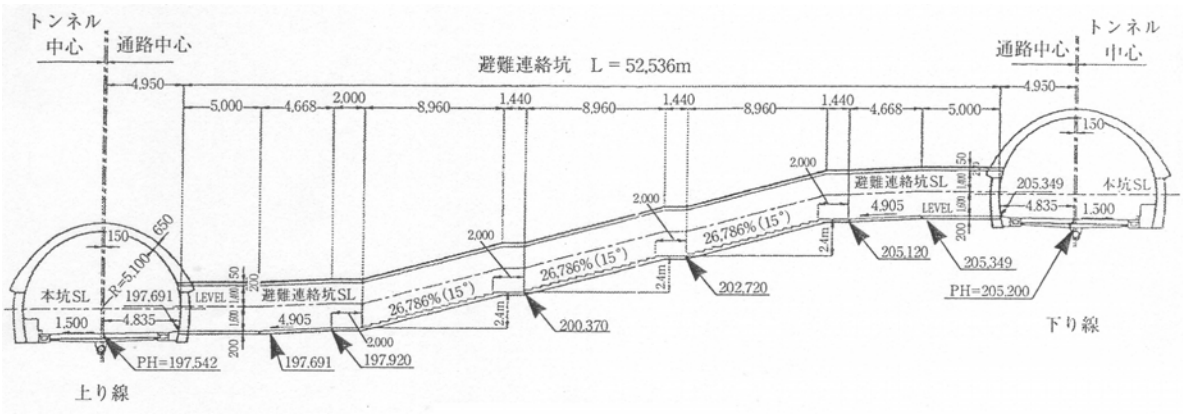


図6　B 避難連絡坑縦断図

ンネルではトンネル外周にも自由面を形成する方が破砕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事は不可能であり,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で 350mm とし,また外周は 200mm 程度の間隔とした。

図5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に穿孔,1/3 に割岩に費やされていることが示されている。

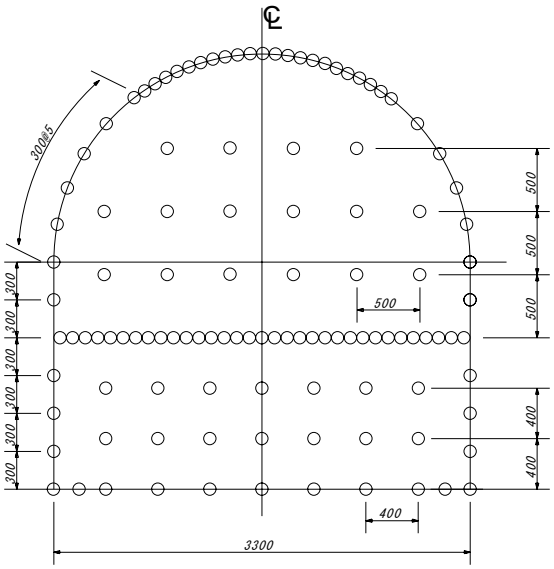


図7　B 避難連絡坑における穿孔パターン

3.2　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。図6にトンネル縦断図を示すが,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$^2$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。

図6に示されるように,本トンネルの上下間の高低差は約 8 m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 地点まではダルダによる掘削とし,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。

図7に,B 避難連絡坑における穿孔パターンを示す。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。

図8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,及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

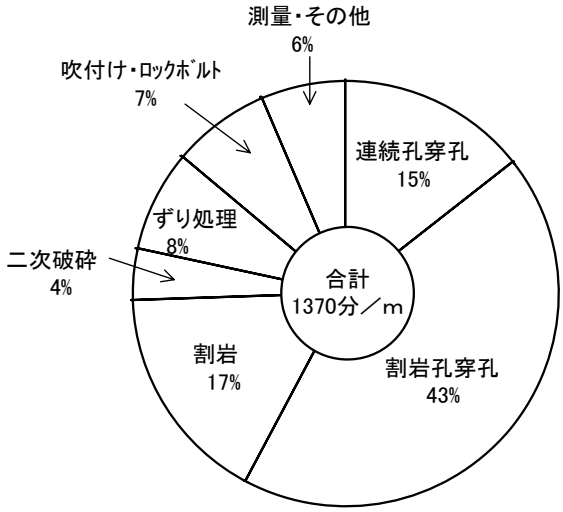


図8　B 避難連絡坑におけるサイクルタイムの一例

えられる。これは,A 避難連絡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,このような硬岩掘削時におい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。

なお,写真1に A 避難連絡坑における割岩状況を,写真2に B 避難連絡坑における自由面形成状況を示す。

## §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。

今後同種の施工をする際,今回把握したサイクルタイム等が何らかに反映されれば幸いである。

写真１　A 避難連絡坑における割岩状況

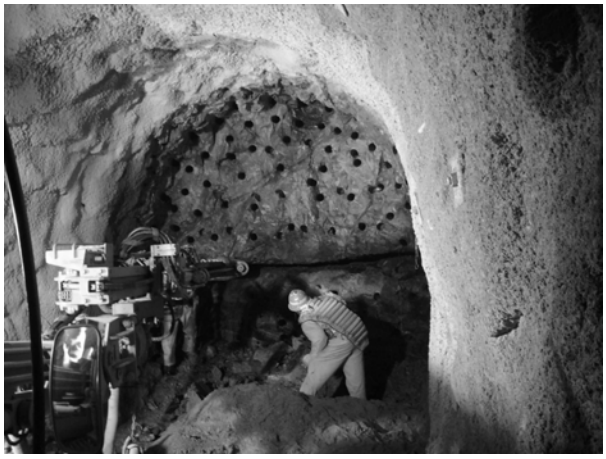

写真2　B 避難連絡坑における自由面形成状況

### 参考文献

1) 本田裕夫,萩森健治,古川浩平,中川浩二:硬岩トンネルの無発破掘削に関する研究,土木学会論文集,No.379,pp.55～ 64,1987.

2) 原敏昭,多田幸司,熊谷成之,木村哲,平野享,山下雅之,塚田純一,金子勝比古:割岩工法における新しい自由面形成方法の提案,土木学会第 59 回年次学術講演会,6-391,2004.

### ひとこと

小断面トンネルでは、大断面とは異なる苦労があることが実感できた。

今後は、再度大断面のトンネルでの割岩工法の施工に取り組みたいと考えている。

野間 達也