

玄武岩堅硬部における立坑掘削

石川 浩道*
Hiromichi Ishikawa

1. はじめに

一軸圧縮強度 200MPa 級の玄武岩堅硬部において、直径 8.5m の円形立坑を大型ブレイカーにより掘削した。本抄録は、掘削の実績および岩盤を打撃破碎する時の打撃エネルギーに関する提案式について述べるものである。

2. 地形・地質概要及び背景

当該工事現場は、富士山より北東に約 20km に位置し、標高 1,000m 内外の山々に挟まれた谷部にある。

発進立坑は、開口部 φ 8.5m、深さ 15.35m の円筒形状であり、山留めはライナープレート（補強リング有り）を用いた。地質は、上部 4.9m は表土及びスコリア層（N 値 3～30）で、中間部 5.9m は玄武岩溶岩自破碎部（N 値 30～50 以上）、その下掘削底盤までの 4.55m は玄武岩溶岩堅硬部（一軸圧縮強度 160～230MPa）が続いている（図-1 参照）。

沿線の各工区は、この堅硬部の掘削に苦戦しており、概ね 4～6 ヶ月を要している。さらに、当工区は、①用地占用等の問題により着工が約半年遅れたこと、②既発注の工区の中で最上流に位置し、玄武岩堅硬部の掘削割合が最大であること、の 2 点からも、立坑掘削の工法選定は特に重要課題であった。

3. 工法選定

沿線の他工区で採用された工法（表-1）も含め、各種工法を検討した結果、施工効率・経済性に優れた大型ブレイカーによる方法を見直すこととした。

ブレイカーで岩盤を打撃破碎する能力は、打撃エネルギーと相関性があると考え、打撃エネルギーに着目して、使用するブレイカーを選定した。他工区で使用した作業重量 450kg のブレイカーの打撃エネルギーは、700J であったが、この約 6 倍の 4,000J の能力をもつ、ドイツ・クルップ社製 HM1000（作業重量 1.8t）を採用した。また、この大型ブレイカーを取り付けるベースマシンは、20t 級以上が必要であるが、立坑の平面形状（直径 8.5m の円形）の制約条件により、15t

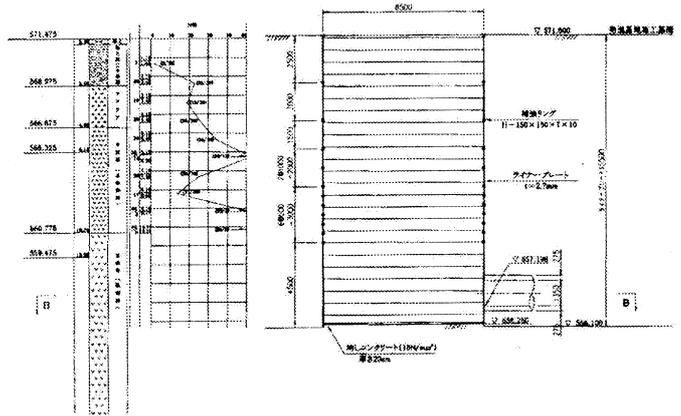


図-1 立坑構造図及び立坑部での地質図

表-1 沿線各工区での立坑掘削工法

番号	工法の名称	施工規模・仕様等	実績	備考
1	大型ブレイカー	ベースマシン 7t 級 ブレイカー作業重量 450kg	1.3m ³ /日	
2	削岩機	穿孔後、手持ちブレイカーにより、打撃削岩	0.7m ³ /日以下	
3	オールケーシング工法	φ2m オールケーシング削孔～ハンマークラブ岩破碎・揚土～砂置換	4本/4.5ヶ月	
4	静的破碎材	H=1.0m, @ 0.4m	不可	

ベースマシンを改造したものを使用した。すなわち、キャタピラー・油圧系は 20t 用を装備し、アームは立坑内の作業に合わせてショートリーチとした。また、ブレイカーと共用のオイルタンクの容量を増大させた。なお、この機械改造については現在、工法特許申請中である。

また、掘削ブリの集土は 0.1m³ 級バックホウを使用し、揚土は 23t 級の油圧クラムシェルによって行った。

4. 実績

(1) 実施工程

立坑掘削に要した施工日数は、83 日間（2.8 ヶ月）であり、騒音対策のために、先行施工した防音ハウスの築造期間を除けば、実働 67 日間であった。

(2) 施工サイクル

堅硬部の掘削は、以下の施工サイクルで実施した。

①大型ブレイカーにより岩盤を破碎する。ブレイカーの打撃間隔は 300mm で、破碎深さは 300mm～500mm である。

実際の破碎速度（ブレイカーチゼルの貫入速度）は、地山の強度・亀裂の有無等の条件が、場所によって大幅に異なるためバラつきがあるが、概ね 0.4～2.1cm/秒であった。

②小型バックホウにて集土し、油圧クラムシェルにて土砂を搬出する。

サイクル毎の所要時間の実績を表-2 に示す。

*横浜（支）都留桂（出）

5. 岩盤エネルギーと一軸圧縮強度の関係

ブレーカーの岩盤破碎能力は、ブレーカーの打撃エネルギーと相関性があると考え、今回の施工データをもとに、岩盤強度とその岩盤を破碎するのに必要な打撃エネルギーとの関係式を新たに提案した。

(1) 岩盤破碎エネルギー

岩石の試験結果のうちじん性値（ページの衝撃試験結果：直径2.5cm、高さ2.5cmの円柱型供試体に2kgの鋼球を落下させ、破碎したときの落下高を計測する）と一軸圧縮強度の間には相関性があり（図-2参照）、この関係を式(1)で近似することを提案した。

$$\alpha = 0.08\sigma + 2 \quad (1)$$

ここに、 α ：じん性値 (cm)

σ ：一軸圧縮強度 (MPa)

さらに、じん性値をエネルギー値に換算して式(2)が得られ、式(1)と式(2)より、破碎エネルギーと一軸圧縮強度の関係式が式(3)のように求められる。

$$\begin{aligned} E &= mgh \\ &= 2(\text{kg}) \times 9.8(\text{m/s}^2) \times \alpha(\text{cm}) \times 0.01 \\ &= 0.196\alpha \end{aligned} \quad (2)$$

ここに、E：破碎エネルギー (J=kg・m²/s²)

m：鋼球の質量 (=2kg)

g：重力加速度 (=9.8m/s²)

h：落下高 = α (cm)

$$\therefore E = 0.0157\sigma + 0.392 \quad (3)$$

ただし、この式(3)は供試体に対する式であるため、実際の岩盤破碎時の条件を代入する必要がある。その条件は、次のとおりである。

- ① ブレーカーの打撃間隔は 30cm である。
- ② 1 打撃による破碎深さは 5mm である。
- ③ 破碎に抵抗する地盤の側方拘束力は、ポアソン比に反比例する。

これらの条件を以下のように数値化する。

- a) 直径 30cm の円盤型供試体と考え、破碎エネルギーは面積に比例するから、 $(30/2.5)^2$ 倍となる。
- b) エネルギーは全方向同等に伝播するから、単位面積あたりの伝播エネルギーは、 $4\pi r$ 倍 = $4 \times \pi \times (0.5/2.5)^2$ 倍となる。
- c) 破碎に対する岩盤からの拘束力は平面的に作用するから、 $(1/\nu)^2$ 倍 = $(1/0.28)^2$ 倍となる（ここに、 ν ：ポアソン比 = 0.28）。

したがって、式(3)は、 $(30/2.5)^2 \times 4 \times \pi \times (0.5/2.5)^2 \times (1/0.28)^2$ 倍となり、岩盤破碎エネルギー (E') と一軸圧縮強度の関係式は式(4)となる。

$$E' = 14.48\sigma + 361.9 \quad (4)$$

ここに、E'：岩盤破碎エネルギー (J) である。

この式(4)に今回の立坑掘削対象地盤の一軸圧縮強度

表-2 サイクル毎の施工時間

(m ³ /h)	スコリア層	玄武岩自破碎部	玄武岩堅硬部
破 碎	28.4	3.9	2.4
集土・揚土	17.0	5.2	2.4
掘削速度	12.2	2.2	1.2

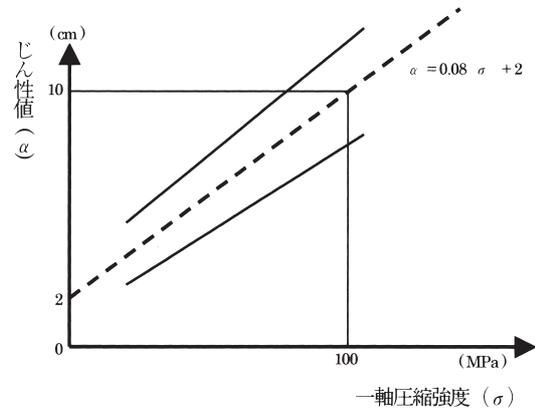


図-2 $\alpha - \sigma$ 図

($\sigma = 230\text{MPa}$) を代入して、必要打撃エネルギーを算定すると、

$$E' = 14.48 \times 230 + 361.9 = 3,690(\text{J})$$

となる。今回、使用したブレーカーの打撃エネルギーは、4,000 J であり、適正な機種選定であったことが分かる。

(2) 検証

ブレーカーの打撃周波数は、2Hz (0.5秒/回) であり、これと提案式算定の条件①、②より、ブレーカーによる打撃破碎に必要な施工時間を算出した。実際の土砂搬出時間を合計し、堅硬部の掘削施工日数を算出すると、36日間となり、実際の35日間とほぼ合致した。これにより、提案式の妥当性を確認することができた。

6. おわりに

当工区は、沿線工区の最上流に位置し、立坑掘削における堅硬部の占める割合が最大で、強度も最も高く、最難関の工区であったが、他工区に比べて3~5ヶ月も工期を短縮できた。そのため、企業先からの高い評価を得ることができた。

当初は、コアボーリング・ワイヤーソーによる岩塊切り出し工法を検討したが、施工費が当初予算に対して約80%高となるため、今回の工法を採用した。

現在 (平成13年10月上旬)、シールドの初期掘進中であるが、全線玄武岩堅硬部を掘削するため、困難が予想される。今後、現場の職員一丸となって鋭意努力していく所存である。