

3. 小断面トンネル用ミニ油圧ブレーカの開発

鹿島：塩田 孝輔，*林 拓夫

1. はじめに

営業運転中の原子力発電所に隣接(最小距離 $l=15\text{m}$)する増設2号機の岩盤調査用試掘トンネルの掘削工事において、掘削断面積 9.0m^2 で中硬岩よりなるトンネル横坑を、無発破工法により掘削した。

この工事のために、ミニショベルをベースマシンとして、これに出来るだけ大きな油圧ブレーカを取付けるなど、急速施工のための種々の改造を行い、小断面トンネル用油圧ミニブレーカを開発した。

この開発試作機は、予想以上の性能を発揮したので、開発から実施までの一連を報告する。

2. 開発の経緯

(1) 施工条件

トンネル横坑を無発破機械掘削するに当たり、次のような施工条件があった。

①横坑を掘削するためのアクセストンネルの断面が小さい(アクセス立坑 $\phi 2.95\text{m}$ 、アクセス水平坑内空 $H=2.6\text{m}$ 、 $B=2.2\text{m}$ ；図-1参照)。

②横坑そのものの断面も小さい(内空 $H=2.6\text{m}$ 、 $B=3.1\text{m}$ ；図-2参照)。

③横坑は、安山岩(均質)・安山岩(角礫質)及び凝灰角礫岩からなっており、その一軸圧縮強度は、 $100\sim 2000\text{kgf/cm}^2$ と広い範囲にある。安山岩(均質)は硬く、 $30\sim 50\text{m}$ 間隔で亀裂が見られ、安山岩(角礫質)・凝灰角礫岩はそれ程硬くないが、亀裂が少く“しわい”岩質である。

④工程上、硬質な岩盤で $0.5\text{m}^3/\text{h}$ 、その他の岩盤で $1.0\text{m}^3/\text{h}$ 以上の割岩能力をもつ必要がある。以上の施工条件に基づき、小断面トンネル用油圧ミニブレーカの開発を実施した。

開発フローを図-3に示す。以下、フローに基づき、開発の経過を説明する。

(2) ベースマシン(ミニショベル)選定

ベースマシンの選定条件として、アクセストンネル断面に入る出来るだけ大きな機種とした。

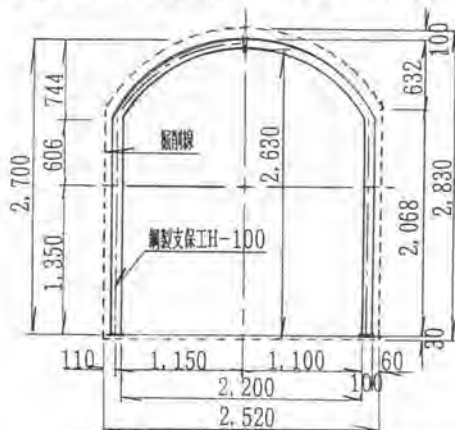


図-1 アクセス水平坑標準断面図

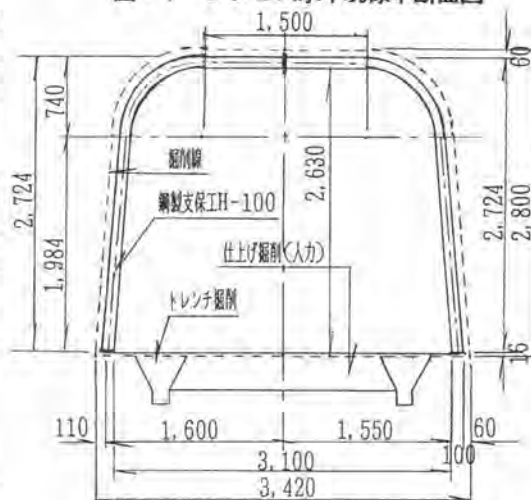


図-2 調査トンネル横坑標準断面図

アクセス水平坑断面にベースマシンをそれぞれ IS45J、IS35Jとした時の通過図を図-4に示す。

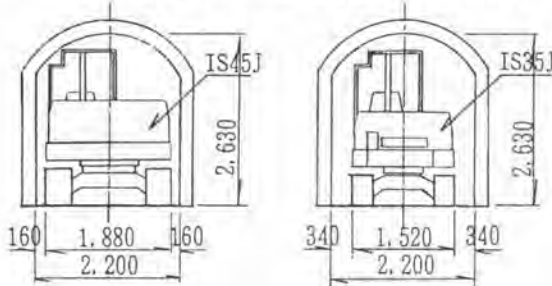


図-4 アクセス水平坑内通過図

図より、IS45Jでもぎりぎり入坑することが可能であるが、機械停止中であっても、入坑者が機械の側方を通過することが非常に難しい状況であることがわかる。また、アクセス立坑からの搬入においては、アタッチメント及びヘッドガードの解体程度で入る機種とした。その他、アクセス水平坑から横坑への廻り込みなどを勘案して、IS35Jとした。

(3) ブレーカ選定

ベースマシン(ミニショベルIS35J)に搭載出来る標準仕様のブレーカは、HB3G(100kg)である。しかし、工程確保のため出来るだけ大きな割岩能力を確保する必要があったので、これより2ランク上のHB8G(270kg)を搭載することとした。このため、ベースマシン本体を以下に示すように大々的に改造した。

(4) 本体仕様の改造

①アームの改造：ベースマシン(ミニショベルIS35J)

に2ランク上のブレーカHB8Gを取付けることによ

り“頭でっかち”のバランスの悪い構造になる。そこで、2本継ぎのアームを根本の1本とし、さらにこれも天地を反転させたV型の構造とした。これにより、重量が軽減されるとともにショートアームにすることでバランスを良くし、狭い場所での稼働性向上と、落石の抱込み防止を図った。

②カウンターウエイト装着：さらに、本体後部に600kgのカウンターウエイトを取付けることにより、バランスの改善を図った。

③油圧機構の改造：ブレーカHB8Gを取付けることによる作動油量の不足を解消するため、電磁弁によって走行動作とブレーカ動作を自動切替え出来るようにし、ブレーカ作動中は走行用油圧ユニットからも油圧を補うようにした。また、坑内が狭隘なので、排気ガス及び騒音が環境上問題になることが想定されたことと、万一の油量不足に備えて外部油圧ユニットを接続出来る構造とした。

機械メーカー選定

- ① 地元機械改造メーカー(A社)と共同開発
- ② ミニショベル(B社)
- ③ ブレーカ(C社)

ベースマシン(ミニショベル)選定

- ① トンネル断面形状に入るできるだけ大きな機種の選定
- ② IS45J、IS35Jの比較
- ③ 稼働性からIS35Jに決定

ブレーカ選定

- ① 掘削量10m³/日の確保
- ② IS35Jに取付けられる最大仕様のブレーカの選定
- ③ HB8Gを取付けたい

ブレーカHB8Gを取付けるための本体仕様の改造

- ① アームの改造
- ② カウンターウエイト装置
- ③ 油圧機構の改造
- ④ 水冷式オイルクーラの取付

その他機構の改造

- ① ブレーカスライド機構
- ② プームスイング機構
- ③ 安全設備

試験運転

実 施 工

図-3 小断面トンネル用油圧ミニブレーカの開発フロー

④水冷式オイルクーラの取付：過装備及び過労働による作動油温の上昇を抑制するために、ベースマシン後部に水道水を利用する水冷式オイルクーラを取付けた。これにより、打撃力の低下を防ぐとともに、油漏れも防止出来るようになった。

(5) その他機構の改造

①ブレーカスライド機構の取付：狭いトンネル内でブレーカ掘削をする場合、ブレーカのノミ先を切羽へ直角に押し付ける必要がある。底盤面をたたく場合は、機体の重量で押し付けるが、垂直面をたたく場合は、従来のブレーカでは履帯の前進走行力により押し付ける。これでは作業性も悪く打撃力が十分に活かされない。そこで、ブレーカを垂直面に押し付けるスライド機構を取付蹴ることとした。原理は、削岩機のスライド機構と同じである。

②アームスイング角度の検討：天端部の掘削及び下部のトレンチ掘削に対して、すべての部分にノミ先が届くか、CADにてシミュレーションをした。(図-5参照)

③安全設備：ブレーカ掘削をした岩片が飛んだり、肌落ちや落石から運転者を防護するため、ヘッドガードは、鋼管パイプと溶接金網で補強したものとした。また、機械運転中であることが周囲からわかるよう、黄色回転灯を取付けた。

3. 開発機の概要

ベースマシン(ミニショベルIS35J)にブレーカHB8Gを取付けた開発試作機の外観を写真-1に、その

表-1 開発試作機の仕様



写真-1 開発試作機外観



写真-2 油圧装置の外観

掘削機		
項目	単位	概略仕様
旋回速度	rpm	8.5
走行速度(低速/高速)	km/h	2.8/4.8
登坂能力	%(度)	58(30)
エンジンメーカー、モデル	-	ISUZU 3LD1
形式	-	49(4)L, 渦流室, 水冷頭上弁式
シリンダ数-内径×行程	mm	3-83.1×92
総排気量	cc	1,496
定格出力/回転数	ps/rpm	29/2,400
最大トルク/回転数	kgf·m/rpm	9.7/1,800
機体重量	kg	4,300
平均接地圧	kgf/cm ²	0.41
燃料タンク	l	40
作動油(レバ/全系統)	l	45/100
エンジンオイル	l	3.5~6.3
冷却水(エンジン/全量)	l	2.5/5.7
油圧ブレーカ		
項目	単位	概略仕様
形式	-	HB8G
本体重量	kg	270
総重量	kg	430
作動油圧	kgf/cm ²	130~150
所要油量	l/min	45~85
打撃数	b.p.m	400~800
ホース径(高圧/低圧)	mm	19/19
ロッド	-	モイルポイント900mm

後部に取付けた油圧装置・水冷式オイルクーラの外観を写真-2に示す。また、開発試作機の仕様を表-1に、形状寸法を図-5に示す。

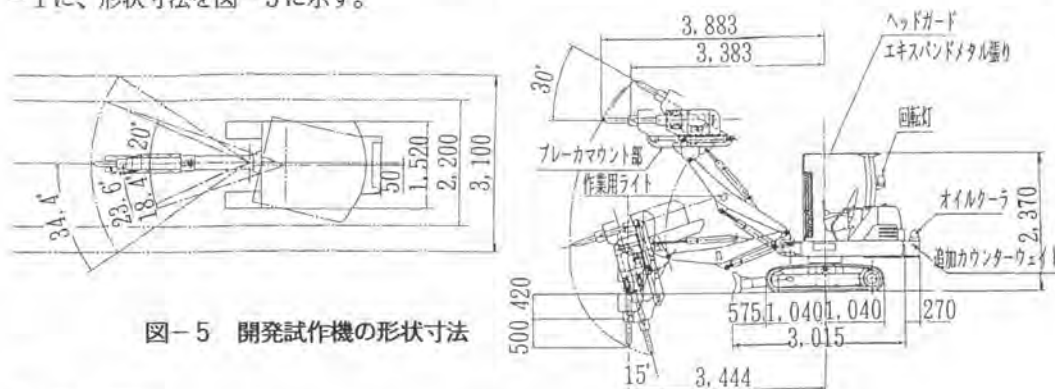


図-5 開発試作機の形状寸法

4. 施工実績

掘削状況を写真-3に、施工実績を表-2に示す。



写真-3 掘削状況

表-2 施工実績

施工箇所	岩質 一軸圧縮強度 (kgf/cm ²)	対象掘削量 (m ³)	掘削時間 (h) ※	平均掘削能力 (m ³ /h)
A	岩Ⅲ, (200±80)	242.10	403.5	0.600
B	岩Ⅰ, (1500±500)	247.97	181.0	1.370
C	岩Ⅱ, (180±80)	200.62	170.0	1.180
D	岩Ⅰ, (1500±500)	95.90	61.5	1.559
E	岩Ⅱ, (180±80)	240.78	231.5	1.040
合計		1,027.37	1,047.5	0.981

※：作業開始前点検時間・切羽確認による一時停止時間
・切羽変更による移動時間を含む。
ずり出し・支保工建込時間は含まず。

開発試作機の割岩掘削能力は、当初の計画では、岩Ⅰ0.5m³/h、岩Ⅱ・岩Ⅲ1.0m³/h、加重平均0.89m³/hと見込んでいた。

施工実績では、岩Ⅰ1.37~1.56m³/h、岩Ⅱ・岩Ⅲ0.6~1.18m³/h、加重平均0.98m³/hと満足する結果が得られた。当初難渋すると考えていた岩Ⅰは、亀裂により割目から落ちるように掘削ができ、掘削速度が速くなった。かえって軟かい岩Ⅱの方が岩が“しわく”かつノミ先が刺さり、いわゆる“つぶ状態”になり、実績0.60m³/hと掘削しづらい状況であった。また、補助工法として、芯抜ボーリング(スリット状)・油圧クサビ・静的破碎剤などを用いたが、結局本機でひたすら割岩したほうが、能率的であった。

5. まとめ

小断面トンネル用ミニ油圧ブレーカを開発し、当現場で初めて試作し、中硬岩トンネル横坑の無発破掘削に使用した。当初の目標以上の成果を発揮し、無事工程通り完了することができた。

ベースマシンに標準仕様より、2ランク上の油圧ブレーカを搭載した開発試作機において、本体に与える影響がどのような形で現われるか懸念されたが、特に異常は確認されなかった。

開発から試作まで各部署のアイデアを出し合い検討することにより、当現場にマッチした掘削機を完成することが出来た。今後、同様な小断面トンネルの無発破掘削工事の参考にされたい。