■ 報告

最近開発した立坑掘削機械の紹介*

三吉 積男¹ 栗林 元之² 鶴 元 順²

Introduction of the Developed Vertical Shaft Excavators Recently

by Sekio MIYOSHINO¹, Motoyuki KURIBAYASHI¹ and Sunao TSURUMOTO¹

1. Mitsui Miike Machinery Co., Ltd., Omuta-shi, Fukuoka 836

The vertical shafts are used in the various field such as mining, civil construction, power plant, and etc. for the underground utilizations. Furthermore, these shafts have the possibility to be used for the new utilizations for the energy stock, the cosmic rays observations.

The following equipments developed by Mitsui Miike Machinery, are introduced.

- 1) The winding equipment for the opening of vertical deep shaft.
- 2) Excavation for the deep piling.
- 3) New type excavator for the opening of vertical shaft to be expand the piling bottoms.

KEY WORDS : Equipments for Shaft Sinking Excavation of the Deep Piling, Expander of the Piling Shaft Bottoms

1. はじめに

立坑は地下利用に関する広い分野で利用されているが、おおむね次の種類に分けることができる。すなわち、鉱山において資材や人員の運搬、または通気目的で利用されるもの。長大トンネル掘削において工期短縮や換気を目的として利用されるもの。水力発電所建設において完成後の取水口や調圧水路等として利用されるもの。その他各種基礎の杭のために利用されるものなどである。このほか地下核実験や弾道ミサイル収納庫等の軍事目的のものや液化天然ガス等のエネルギー貯蔵さらには、宇宙線観測施設のような新しい利用方法も出てきている。本講では、これらの中から当社（三井三池製作所）が手掛けている深い立坑用の開削巻上設備と深礎杭の機械化施工および掘底基礎用のための新しい立坑開削機械を紹介する。

2. 全断面発破掘下り工法用の立坑開削設備

穿孔、発破、ずり積み、覆工を繰り返す開削法の中でショートステップによる開削工法が盛んである。鉱山における幾多の開削工事の実績を基に、最近では土木工事の現場でも盛んにこの工法が使用されている。一般的にはキブル（掘削ずりおよび人員、資材の運搬用）とスカーフ（足場）を基本とした構成であるが、現場の条件に応じてその構成機器に工夫がなされる場合が多い。

以下、中部縦貫自動車道安房トンネル換気立坑掘削に使用された設備を中心にその特徴を紹介する（図1）。

2・1 掘削システムの概要

安房トンネル換気立坑掘削工事は坑口の標高が1,800 mであっ

て真冬の積雪量は6 m、気温は-25℃にもなるという予想がなされた。このため特別の積雪荷重を考慮したり、冬期工事休止期間を考慮した設計が必要であった。一例として、凍結による部材の破裂を避けるため、可能な限り、開放断面の部材で構造物を形

図1 全断面発破掘下り工法用立坑開削設備の一例

* 1996年3月27日受付 6月19日受理

1. (株)三井三池製作所 鉱山建設機械部設計グループリーダー

2. (株)三井三池製作所 鉱山建設機械部設計グループ

[著者連絡先] FAX 0944-56-4652 (三井三池製作所)

キーワード：立坑開削設備、深礎開削、掘底掘削機

図2 キブル巻上機のサイクルタイム

造ることとなった。

設置場所が山岳地であるので、敷地面積が少なく済むコンパクトタイプのH型槽を採用し、さらにスカーフオード巻上機を槽に乗せて、小型化をはかった（このスタイルをIG型と呼んでいる）。巻上機には大型の出力にもかかわらず低騒音、低振動、高効率で定評のある遊星減速機を採用した。従来のこのクラスの巻上機と比較して、半分以下のスペースとなっている。

2・2 性能と自動化

各種キブルおよびずり積機を昇降させる主巻つまりキブル巻上機（図2）には、大型の500kWサイリスタレオナード制御方式の巻上機を採用し190m/minの速度で運行する。コンパクトな槽の中でしかも許されるスペースを使って、リンク機構によるずり転覆の自動化をとりいれることに成功した。ガイドに沿って底開きするスキップや転覆するスキップに比べて、従来は、ずりキブルの自動転覆は、格別に難しいものとされてきた。また、キブルがロープ式のガイドでありしかも転覆するときには、ライダと称するガイド部を上部に預ける必要があるが、これを巻上機制御と機構によってクリアし、新しい転覆方法の自動化を完成した（図3）。

2・3 法規適用

この開削設備はキブルの種類として人用キブルも用意されており、これを利用すれば、人員の運搬も可能であるが、効率化を考えると坑壁にガイドレールを有する人員昇降の専用エレベータも設置されている。このように人員運搬設備を別途用意する場合には建設リフト規格に沿って安全率6以上を基準としてロープ径を決定するのが普通であるが、この現場では、緊急用の意味も含めて、あえて安全率10以上の条件でキブルロープが選定され、設備は人員昇降も可能なエレベータとして設置申請されている。

つまり法規的には、工事用エレベータであるキブル巻上設備、ゴンドラとして適用を受けるスカーフオード巻上設備、さらに工事用エレベータの人専用巻上設備が設置されていることになる。

2・4 施工実績

従来から実施されてきたキブルとスカーフオードによるショートステップ工法の開削設備ではあるが、上述の特徴ある配置、自動転覆運転によって予想通りの性能を発揮させることができた。

図3 キブル自動転覆機構

3. 深礎工事機械化施工システム（弁慶）

3・1 概要

深礎工事は、山岳地帯における橋梁構造物基礎、地すべり抑止杭、電力鉄塔基礎等の基礎杭施工の有効な工法の一つである。山岳地帯深礎工事の採用が多くなっている反面、労働者不足、高齢化、熟練工不足が深刻な問題となっている。

以前から深礎工事の機械化による省力化、作業効率向上、安全性向上が強く求められていた。

こうした要求に応えるため、通常の掘削時には作業員が

深礎底部に入らなくても施工可能な、「自走式・深礎掘削・山留め機」弁慶 250 について紹介する（図 4, 5）。

本機は、自走式架台から吊り下げたゴンドラ作業床（以下作業床という）に運転席、削岩機、回転切削機（以下ツインヘッドという）、吹付け機構を装備し、運転席から作業床の昇降、旋回、

掘削山留めの操作が行える。排土作業をパイプクラムシェルと組み合わせることにより、複数の深礎杭の掘削・山留めを能率よく施工できる。

掘削性能は、従来の深礎工事の掘削機が一軸圧縮強度 50 kgf/cm² 程度の軟岩を対象としてきたのに対して一軸圧縮強度の範囲を 200 kgf/cm² まで拡大するとともに、削岩機を装備することにより硬岩、転石の発破掘削も行えるものとした。また、掘削面の整形作業にツインヘッドが使用できるようにして、杭壁周辺の人力による仕上げ作業を不要とした。

3・2 特徴

(1) 施工機の特徴

- ・ 3 分割のユニットのため、11 t トラックに搭載可能でありかつ組立が容易で、組立完了後は施工現場まで自走して移動できる。
- ・ 狭い施工ヤードでの占有面積は 2.5 m × 4.0 m と小さく、かつ施工中の杭の真上でのピボットターンが可能のため、杭間の移動および段取替えが簡単である。
- ・ 昇降する作業床には、削孔のための削岩機、当たり取り掘削、コーナ部掘削、ずりの掻き寄せ作業のためのツインヘッド、土留め工のための吹付け機および運転室を装備し、所定深度において 360 度旋回しながら効率的に作業を行う。
- ・ 作業床は 2 名の安全な昇降が可能で、作業床に取付けられた操作室および補助室は微圧を保持して粉塵の侵入を防ぐ構造になっている。
- ・ 作業床のセンターポールを使って、作業時および旋回時の軸芯を保持する。
- ・ センターポールが作業床の自重の 3/4 を支えること、かつセンターポール先端の楔の抵抗力により、ツインヘッド等の作業時反力を支持する。これによりグリッパの吹付けライニング部への接地圧を減少させる。

(2) 施工法の特徴

- ・ 杭 2 本をペア（1 本を掘削しながら、別の 1 本については仕上げ工事を行う）で施工することにより、工期の短縮を図る。
- ・ 山岳地の深礎杭基礎の掘削工事では発破工法を取り入れることも可能である。したがって、軟岩層～軽石層～硬岩層と幅広い岩層に適用可能である。
- ・ 土留工に吹付けライニングを採用したことにより人力作業をなくするとともに深礎杭基礎体と地山との密着性を高めることが可能となった。
- ・ 排土には高能率のテレスコピック式クラムシェルを用い、杭壁周辺部の集土にはツインヘッドを使用するので坑内の人力作業を避けることができる。
- ・ 装薬を除き、坑内での人力作業がない。
- ・ 進入路があれば、段差フーチングの施工も可能である。

3・3 構造

(1) 掘削部 アームの先端にツインヘッドが取付けられており、その他端は旋回部にピンで接合している。伸縮シリンダと俯仰シリンダを操作して杭壁面を上から下へ切下げ、底部は周辺から中央へ引寄せの形で切削し、順次旋回して全面を切削する。

(2) 吹付け部 吹付け部は操作室の下部に位置し、地上の吹付け装置から作業床中心上部へ吹付け用ホースを接続する。また、吹付けノズルは掘削部にワンタッチで取付可能である。吹付け方向は削孔機側とし、旋回装置によって順次杭壁全周を旋回し吹付ける。掘削機上下シリンダを伸縮させて、壁面の最大吹付幅 1.2 m が可能。吹付けノズル自体もシリンダにて水平方向から下向きに 60° まで単独

図 4 弁慶 250 による施工概略図

図 5 弁慶 250 本体外形図

で上下することが可能。また、吹付け装置を下向きにセットし、床面の吹付け作業もできる。

(3) 削孔部 旋回フレーム中央部の支柱およびリンクフレームを介し、2本のシリンダで支持している。これらのシリンダを操作して、杭穴の半径方向に削孔位置および角度をセットする。また、周方向は旋回を利用して位置決めを行う。削孔機はビットの進行状況を確認する必要があるため、操作室からビット先端が見えるような構造および配置としている。

(4) 操作室 操作室は旋回フレームの下に各機器と一緒に旋回するように取付けられており、室内の居住性をよくするために内部を加圧シダストの浸入を防いでいる。旋回フレームと操作室の間には防振ゴムが存在し、作業振動の伝達を軽減する構造となっている。

(5) 旋回部 グリッパ部と各作業機器間に位置し、低速、高速が選択可能である。

(6) グリッパ部 坑内に吊り下げた施工機を作業位置に固定するためグリッパを設けている。

グリッパフレームと杭穴壁の間を通して火薬、吹付けホース等を下す。非常梯子を壁面に取付けるため 300 mm のスペース(杭径 $\phi 2.5$ m の場合)を確保している。

(7) センターポール部 作業床の支持固定および位置決めのため、センターポールを設けている。

(8) 換気部 操作室内の粉塵進入防止と各作業時の視界向上のため、送風機を設置している。

(9) ウインチ部、リール部 作業床(ゴンドラ)の昇降を行う。ユーティリティ配管類はリールにて自動巻する。

(10) 走行部 クローラ式の走行装置で登坂台車を取付けることにより、最大 16° の勾配を自走にて登坂が可能である。

3・4 施工実績

本機は、開発後、1993年に東海北陸自動車道、1994年に磐越

自動車道、および富士川線新設工事等の深礎杭工事に採用され、逐次改良を重ねている。

弁慶システムは、完全無人化ではなく、作業床内に運転者が搭乗しての目視での遠隔操作による作業である。したがって当たり取り部の凹凸の確認、吹付けモルタルの付着状況把握等を、運転室内より十分に確認することができる。本機は、従来工法に比較して、省力化、苦渋作業の排除、特に安全作業の確保では充分効果をあげることができた。

4. 拡底掘削機(三四郎)

4・1 概要と開発の背景

大型送電線に使用されている拡底逆T字型基礎の底部掘削は、従来からほとんどが人力により行われている。しかし、狭い穴内での重労働作業であるばかりでなく、じんあい対策など衛生面での改善も望まれていた。このため、これらの対策として機械化・自動化による作業環境の改善、施工性・安全性の向上が可能な拡底掘削機の開発を進めてきた。

今回、上記の諸問題を解決し、山間部の送電線建設に対応できる軽量・コンパクトな高性能掘削機を開発した。本機は経済性、安全性にもすぐれ、工場での性能試験および現地における実規模の施工性確認試験について、良好な結果を得たので、以下、本機の概要を紹介する。

拡底逆T字型基礎は、従来から送電用鉄塔に採用され、とくに大型送電線では信頼性を向上させるため床盤部を拡底して掘削する工法を採用している。しかし拡底部の掘削には、次のような問題点があり、改善が望まれていた。

・拡底部の掘削や支保工の設置などの作業はほとんどが人力に頼り深く狭い穴での重労働作業となるため、今後とも労働力の確保

図6 掘削部外形図

図7 斜坑削孔機外形図

が難しい。

- ・ 拡底部の崩落防止用斜坑の削孔作業中に、多量の粉じんが発生するためじんあい対策などの作業環境改善の強い要望がある。
- ・ 拡底部の崩落防止用斜坑については、土質によってもその安定性が異なり、地山の安定度を評価することにも工学的に不明瞭な部分が存在する。したがって、掘削地山の地質状況を目視しながら、経験的に施工しているのが現状である。このため、作業員の安全確保に苦慮している。
- ・ 拡底部の掘削はブレーカを使用した前かがみの重労働作業であるため施工工法の改善が望まれている。以上のような問題点を解消するため、斜坑削孔（支保工）から拡底部掘削まで、機械による自動掘削が可能な掘削機を開発することとなった。

4・2 掘削機の特徴

掘削部には、当社が開発し、すでに約 1,000 台の実績を有するツインヘッドを採用した。土砂から硬岩まで、高性能な掘削ができ、ツインヘッドの先端部は下方向の立掘りにも使用できる。またアーム部に斜坑削孔機を取り付けることにより、拡底部の斜坑削孔も可能で、岩盤発破工法の削孔にも対応できる多目的坑底掘削機である。その特徴は以下のようにまとめることができる。

- ・ 総重量が 2.5 t で 4 t 車両でも十分に運搬が可能である。分割可能構造（2 分割）のため、山間部へのヘリコプタや索道運搬にも対応できる。
- ・ 高性能なツインヘッドを採用することにより、土砂から軟岩および硬岩までを効率よく掘削することができる。岩砕は最大 10 cm 程度の大きさとなるため、バキューム排土システムを併用することにより、掘削から排土までの穴内作業の無人化がはかれる。
- ・ 従来の手掘り工法よりも掘削面がきれいで寸法通り仕上がり、コンクリートロスも非常に少なくてすむ。
- ・ アタッチメントの取換えにより、斜坑削孔や岩盤発破の削孔も可能であり、アームの角度を設定すると精度の高い削孔ができる。
- ・ グリッパの調整および延長用アタッチメントの使用により、ライナープレート径が 2.5～5 m まで対応可能である。
- ・ 機体の操作は地上から遠方操作で実施できる。

4・3 構造

今回開発した拡底掘削機は、上部では水平方向に 3 本のグリッパ（上部支持アーム）を延ばして坑壁に固定し、下部では杭の底にドリル（底部支持部）を地中部に押し込んで支持する。掘削時の反力に対して堅固に固定できる構造である。従来の立坑掘削機に比べて、格段の軽量化が実現したため、山岳部の送電線基礎へ

の適応を可能とした。

また、掘削部のツインヘッドは、パワーショベル同様、上下および 360 度の旋回動作が可能な構造であり、油圧により上下・旋回しながら効率よく拡底掘削を行うことができる。さらに垂直方向の掘削も可能である。

以下に各部の構造を示す。

（1）掘削部 特殊なツインヘッドを採用し前面掘削のほか旋回掘削もできるようにチップを配列している。ドラムの動きは、パワーショベル同様 2 本のアームにより、油圧シリンダの操作で上下および左右に動作でき、旋回掘削も可能である（図 6）。

（2）支柱部 支柱フレームは、上側を架台中心にメタルで支持し、下側をオーガで地中にねじ込む構造とし岩盤に挿入でき、掘削反力の向上をはかっている。

（3）架台 中央部には支持フレームを支持するメタル軸受、外周には 3 個のグリッパを取り付け、固定できる構造としている。上からリモートコントロールも可能である。架台上にも運転席があり、運転者はグリッパの間からドラムの動きを見ながらの操作もできる。

（4）斜坑削孔機 掘削部との取換えはピンの差し替えにより簡単にできる構造とし、所定の位置に所定の角度で固定して削孔できることとした（図 7）。

4・4 施工性試験結果

現地における実規模試験を平成 7 年 4 月 17 日～5 月 31 日に徳島県美馬郡脇町清水で実施した。

施工能力の確認、最適サイクルの確認、操作性、作業環境、安全性の確認、組み立て、解体、運搬方法等の確認をして良好な結果を得た。

今回実施した実規模試験の結果、この多目的拡底掘削機を採用することにより、機械化・自動化がはかれ、コスト削減および作業の効率化と安全・衛生面労働環境の改善がはかれる見通しを得た。

5. お わ り に

深い立坑と浅い立坑用の最近の掘削機械の概要を紹介した。

ここに紹介した全断面掘下り用開削設備実績は三井建設(株)の工法によるところが大きい。また、弁慶深礎掘削機は当社と三井建設(株)の共同研究の成果である。最後に紹介した拡底掘削機(三四郎)は三井建設(株)、(株)三井三池製作所、四国電力(株)、(株)四電工の共同開発であったのでその頭文字を取って命名されたものである。