

## 海外の大規模水力発電所工事における地下発電所掘削

清水建設株式会社 正会員 ○菅原 将博 高岡 秀明 酒井 貴之

### 1. はじめに

アサハン3水力発電所（174MW）は、インドネシア共和国スマトラ島のトバ湖から流れ出るアサハン川の水を利用する流れ込み式の水力発電所で、北スマトラ系統の電力需要逼迫の緩和と電力供給の安定性改善を目的としたものである。当社が施工するのは、土木工事のパッケージであり、その中に地下発電所、総延長約10.9kmのトンネル、上下流2か所の調圧水槽、水頭差167mのペンストック、明かり工事としてコンクリート重力式取水堰、総延長約1.8kmの開水路の構築が含まれる。このうち、地下発電所およびトンネルなどの地下掘削には、セミオートのコンピュータジャンボ、3Dレーザースキャナ、坑内Wifi およびCCTV、トンネル統合情報システムといったICTを重点的に用いた。本稿では、当工事の地下掘削における一連の施工技術について紹介する。

### 2. 地下発電所の地形と地質

地下発電所は、インドネシアの西端にあるスマトラ島の北部に位置し、アサハン川周辺の急傾斜な段丘崖の地中、土被り約160mの深度に建設される。周辺の岩盤は、古生代石炭紀の終わりからペルム紀の初めに堆積したと推定される、およそ3億年前の密実な礫混り砂岩からなり、割れ目は存在するものの、ほとんどがB/CH～CM級と判定される。

### 3. 地下発電所掘削

地下発電所（図-1、図-2）は、高さ39m、長さ107m、幅22mで、弾頭型の断面を有し、総掘削量は61.2万 $m^3$ 、最大断面積は788 $m^2$ となる。地下発電所本体の掘削順序は、図-2に示す加背割の通りである。その掘削には、延長約356m、10%下り勾配のメインアクセストンネルを始めとする6つの周辺トンネル（メインアクセストンネル、アーチ連絡トンネル、排水トンネル、水圧管路トンネル、換気トンネル、ドラフトトンネル）をアクセスに利用した。地下発電所坑壁の支保（図-2）は、吹付けコンクリート（アーチ部、側壁部中段まで：2層×8cm鋼繊維補強材入り、1層×8cmのプレーンからなる3層、側壁部下段：1層×8cm鋼繊維補強材入り、1層×8cmプレーンからなる2層）、ロックボルト（長さ4m、D25、約1,000本）、PSアンカー（長さ8m、アーチ部：P=600kN×220本、側壁部：P=400kN×199本）を組み合わせたもので構成されている。アーチ部は頂設導坑を最初に掘削し、天端PSアンカー緊張後に左右に切り抜けた。ベンチ掘削では、高さ5mを標準に6段ベンチまで順次切り下がった。ベンチ中央の大背部（幅=15m）は油圧クローラードリル2台により鉛直削孔を行い（写真-1）、ベンチ両端の土平部（幅=4m）はセミオートコンピュータジャンボにより水平削孔し、掘削した。2段ベンチ掘削完了後は、サイドダンプでのずり出しが可能となるように拡幅掘削した換気トンネルから上部にグローリーホールを開け、ズリ出しに活用した。地下発電所本体の掘削は、2020年6月5日に開始し、翌2021年6月17日までの約1年で完了した。A計測の結果、最大天端沈下量は32.5mm、最大内空変位量は41.4

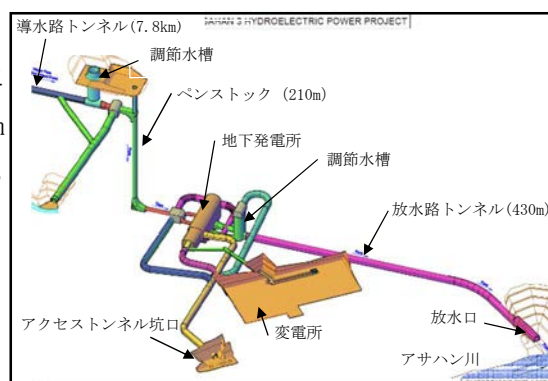


図-1 地下発電所及び周辺トンネル鳥瞰図



写真-1 地下発電所掘削状況

キーワード 地下発電所、コンピュータジャンボ、BIM

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋 2-16-1 清水建設(株) 土木国際支店 土木第一部

mmを示し、大きな変状なく掘削を完了することができた。

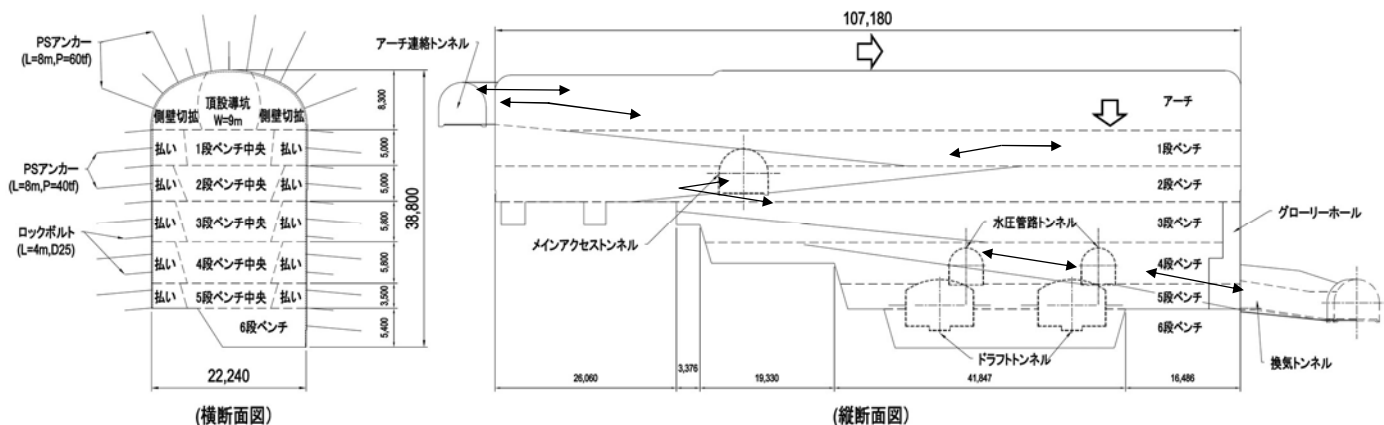


図-2 掘削順序

#### 4. 使用機械・材料

地下掘削では、セミオートコンピュータジャンボ(写真-2)を導水トンネル(7.8km)、放水トンネル(480m)と合わせて合計6台使用した。コンピュータジャンボ使用のメリットは以下の4つがあげられる。①外周孔の挿し角管理による、長孔発破(掘進長4m)の余掘り量低減。②切羽でのマーキングをなくすことにより、サイクル短縮と安全性の向上。③穿孔データと発破後の余掘り結果のフィードバックにより余掘り量低減。④削孔精度がオペレータの技量に左右されない。次に、水平掘削には、耐水性を有し、装薬作業効率が高いパルクエマルジョン爆薬をマレーシアから輸入して使用した。また、吹付けコンクリートには液体急結剤を使用し、粉塵低減により作業環境が改善された。アーチ部上向きPSアンカーの削孔(写真-3)においては、ロッドチェンジャーを使用し安全に削孔できるよう、ベンチ掘削用油圧クローラードリルを上向き削孔できるように改造し、施工にあたった。

#### 5. BIMへの取り組み

本掘削では、坑内A計測データ、コンピュータジャンボの穿孔エネルギーデータ、3Dスキャンデータ(吹付け後のトンネル坑壁のスキャン)、切羽写真、地質展開図などのトンネル情報をBIM上で統合し情報の可視化を行っている。また、全坑内にWifi・CCTVを設置したことにより、現場状況を事務所大型モニタ、個人スマートフォンなどで迅速に把握でき、各作業の待機時間短縮につながっている。

#### 6. おわりに

本稿では海外での水力発電所工事の地下発電所および周辺トンネル掘削の一連の施工技術について紹介した。海外の山間僻地という環境、Covid-19の他国ロックダウンによる火薬の輸入停止とそれに伴うトンネル掘削進捗の低下、コンピュータジャンボの技術スタッフの渡航制限など様々な困難があったが、その都度、国籍の関係なくチームが1つになり力を合わせ、課題を解決しながら工事を進めてきた。当発電所は2023年12月の竣工を目指しており、当発電所の完成によってインドネシアの発展に貢献することができたら幸いである。



写真-2 コンピュータジャンボ



写真-3 上向き削孔状況

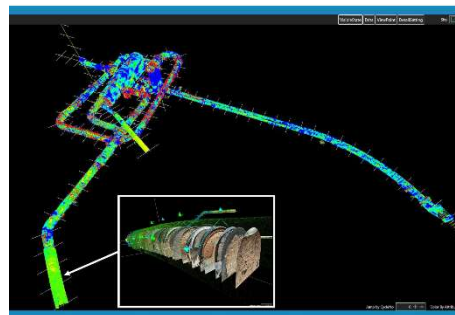


図-3 地下発電所BIMデータ