

## 15. アリマッククライマー、レイズドリルを用いた長距離斜坑の施工

電源開発(株)：藤野 浩一

(株)奥村組：宮川 勝美・栗田 猛志

### 1. はじめに

電源開発(株)奥清津第二発電所の水圧管路には、上段斜坑(勾配 $5.1^\circ$ ・延長約390m)と下段斜坑(勾配 $5.1^\circ$ ・延長約250m)の2か所の斜坑がある。斜坑掘削は、まず導坑掘削を行い、この導坑をズリ搬出坑として利用し正規断面に拡幅する。各導坑の掘削については、アリマッククライマー、レイズドリルを使用した工法により掘削をおこなった。

(図-1参照)

本文は、それぞれの工法の施工実績について報告するものである。

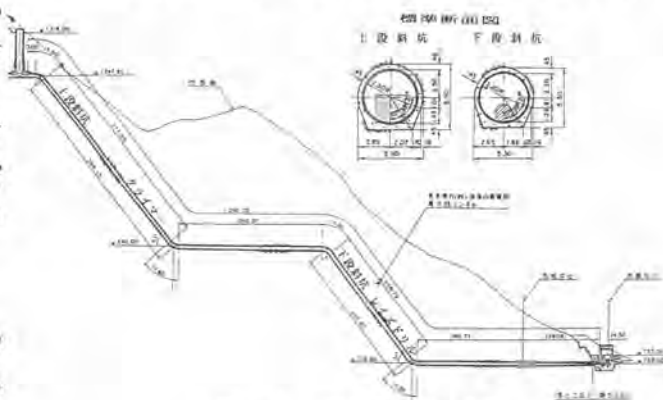


図-1 水圧管路縦断面図

### 2. クライマー工法による導坑掘削(上段斜坑)

上段斜坑の掘削は、本工事におけるクリティカルパスであり、掘削延長からも急速施工がもとめられた。また、施工区間の地質はクライマー工法が適用できる良好な岩盤であると想定され、同工法を選定した。

クライマーはアリマック社製(スウェーデン)のアリマッククライマー(RCM-6M)を使用した。RCM-6Mは従来の機種(RCM-6S)に以下の改良を加え安全性及び作業性の向上を図っている。

- ① 油圧削岩機操作位置を作業ステージより運転席内部からの遠隔操作に変更した。
- ② アウトリガー取り付け位置をサイド部からボトム部へ変更し、本体の支持能力を向上させた。
- ③ 本体重量を5.5tから4.7tに軽量化し、ホイールベースを長くしたことによりアンカーボルト一本あたりの負荷荷重を軽減させた。
- ④ ガイドレール中間部にアンカーボルトベースを設け、アンカーボルトの増設を容易にした。
- ⑤ 削岩機の駆動油圧系統を1系統から2系統に変更した。

アリマッククライマーは、クライマー本体と別個稼動する運搬兼連絡車であるアリ

トロリーから構成される。

アリマッククライマーの全体図を図-2に、主要仕様を表-1に示す。

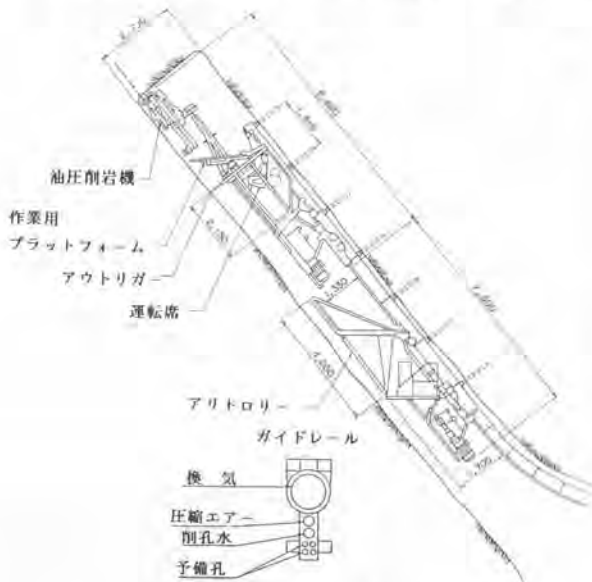


図-2 RCM-6M全体図

表-1 RCM-6M主要仕様

項目	仕様
(クライマー本体)	
上昇速度	0~1.6m/分
下降速度	0~4.0m/分
積載荷重	1,000kg
電動機	30kw 660V 3相
供給電力	380V 3相 50H.
削岩機	COP 1032型
全長	約8,600mm
全荷重	約4,500kg
(アリトロリー)	
上昇速度	0~1.6m/分
下降速度	0~4.0m/分
積載荷重	3,800kg
電動機	30kw 660V 3相
供給電力	380V 3相 50H.
全長	約7,600mm
全荷重	約2,600kg
(ガイドレール)	
通気用	φ155mm
圧縮空気用	φ28mm
水用	φ28mm
標準長さ	1,810mm
重量	117kg

## 2-1 施工状況

### (1) 地質

上段斜坑区間の地質は区間をとおして石英安山岩で構成され、断層や節理が少なく非常に堅硬な地質であった。

地下水位は、斜坑中・下部ではトンネルより上になり、導坑掘削開始地点より150m付近において薄い粘土を挟んだ小規模な断層から1000ℓ/分程度の湧水があった。

### (2) 掘削状況

導坑断面はRCM-6M型の最小断面である2.7×2.7mの矩形とし、本坑のインバート面から50cm上がりの底設導坑とした。

発破にあたっては、クライマーの動力が電動油圧ポンプであるため、漏洩電流による発破事故を防止するには、装薬時は電源を切り、装薬後の降下は自重で行う必要がある。このような危険性や不便さを回避するために、非電気式起爆システムであるノネルシステムを採用した。

吹付コンクリートについては、アリトロリーに吹付機を装備し、吹付け材料はプレミックスコンクリート(25kg/袋)とし、吹付け位置にてコンクリート・水を投入し吹付けを行った。なお、吹付けの効率化を図るため、下部より約70mの区間についてはクライマー基地よりSBS乾式吹付け機により圧送し吹付けを行った。

### (3) 施工実績

クライマー基地等の仮設工事に約2週間必要とした。掘削中、前述の湧水区間において、地質の確認、水抜き、岩盤固結剤注入等のために10日間程度進行が止まったが無事通過することができた。その後、地質も良好で、掘削開始後約3か月で貫通した。ガイドレールの回収等仮設撤去も含め約5か月で導坑掘削全工程を完了した。進行実績は、稼働日当りの平均日進は4.4mであった。

R C M-6 M機の電気系、機械系の故障により、掘削期間全体で約600時間の掘削停止時間があった。また、掘削延長が伸びるにつれてガイドレールやケーブル等の破損も進行し、点検・保守には細心の注意を払った。

### 3. レイズドリリング工法による導坑掘削（下段斜坑）

レイズドリリング工法を選択するにあたって懸念されたことは、施工区間の諸条件に対し、斜坑導坑として許容される精度でのパイロット孔掘削が可能であるか、リーミング掘削時に坑壁の崩壊を抑えられるかであった。この問題点について検討の結果、地質状況・掘削延長を勘案の上、機器の改良、適切な施工管理にて対処できると判断し同工法を採用した。レイズドリルは鉦研工業（株）が新規開発したBM-150A型（パイロットダウン・リーミングアップ方式）を使用した。BM-150A型は従来の機種に較べ以下の改良を加え安定性、安全性、及作業性の向上を図っている。



写真-1 機械設置状況

- ① 給進シリンダー、ガイドシリンダー共、それぞれ結ぶ交点を掘削中心に一致させる事により、傾斜掘削、リーミング掘削時の安定性の向上を図った。
- ② 掘削は半自動コントロール掘削とし、機械を操作するコントロール盤にLCD画面及びグラフィックパネルを設置し、各種の掘削データ並びに機械操作の状態を表示させ運転操作を容易にした。
- ③ 指示した掘削条件をオーバーすれば警報ランプ、ブザーによる注意信号が発せられようにし安全性の向上を図った。

レイズドリルの設置状況を写真-1、主要仕様を表-2に示す。

表-2 BM-150A仕様

項目	仕様	
パイロット径	270mm	
リーミング径	1,470mm	
スピンドル回転数	0~55rpm	
スピンドルトルク	11.4tf・m	
給進力	前進	76tf
	後進	220tf
給進速度	前進	80cm/分
	後進	30cm/分
早送り速度	前進	8m/分
	後進	3m/分
ストローク	2200mm	
計測表示項目	給進力・給進速度 スピンドル回転数 スピンドルトルク	
重量	約1500kg	

#### 3-1 施工状況

##### (1) 地質

下段斜坑区間の地質も上段斜坑と同様に石英安山岩で構成されるが、断層がやや多

く断層や節理に沿って顕著な風化が進んでおり、岩質は全般にやや不良である。地下水位は斜坑下部でトンネルより上になり、200ℓ/分程度の湧水があった。

## (2) パイロット掘削

レイズドリリング工法による導坑掘削の精度は、パイロット孔の施工精度で決定される。大口径岩盤掘削機BM機による傾斜パイロット孔の精度実績は掘削長に対し約0～1.3%であった。本斜坑導坑の掘削では、本坑掘削断面内にパイロット孔を貫通させるためにはその精度を1%以内に抑えることが必要であった。

本工事では、精度の確保のため孔曲がりの発生しにくい直進性のよい掘削ツールの編成を採用し、また考えられる各種の孔曲がり発生要因に対しては適切な掘削管理を行う事により精度の確保に努めた。掘削ツールの編成に当たっては、下記の特徴を考慮し図-3に示す編成を採用した。

- ① スタビライザーの長い程直進する傾向が強い
- ② スタビライザーの外径がビット径に近い程孔は曲がりにくい
- ③ 一般的にツールの径が大きい程孔は曲がりにくい

また、掘削中に孔曲がりの発生する大きな要因として次の項目があげられる。

- ① 掘削機据付時の方向誤差
- ② 掘削時の不適切なビット荷重
- ③ 地層の変化、硬軟の互層

据付時の方向誤差については、掘削機の据付、口元ガイド管の設置及び掘削開始後10mまで中心線の厳密なチェック修正を行った。

ビット荷重をかけ過ぎるとビットの回転方向に起因する回転方向への孔曲がりが発生する。特に硬、軟質岩が互層する不均質な岩盤では孔曲がりが増大する傾向がある。当初、計画ビット荷重を許容ビット荷重の40～50%とし、12.8～15.9tfの範囲で掘削を開始した。実際の孔曲がり、掘進率、ビット荷重、回転数、トルク及び地質などの条件によって影響される。この為、一定区間の掘削を行った後、記録された掘削データと孔曲がり測量結果との相関を調べ、これを基にパイロット孔掘削時の管理基準値を下記の値とした。

* ビット回転数	30rpm
* ビット荷重	10tf
* トルク	0.2～1.5tf-m
* 泥水量	500～600ℓ/分

ビット荷重は10tfを確保するよう特に留意し、掘削速度を抑え孔曲がり対策を優先させた。

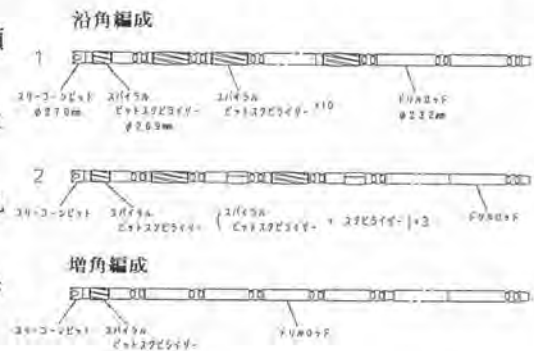


図-3 ツール編成

孔曲がり測定には、磁気式測定器を使用した。磁気式のため掘削ロッド内で測定できず、20～30m掘削毎にロッドを揚管し裸孔状態で測定を行った。測定間隔は約6.0mとし、フィルムの読取り誤差を防止するため、同一深度で2～3回の測定を行いその平均値を採用した。

パイロット孔の計画線からの偏位に対する軌道の修正は、図-3に示した増角編成のツールズで基本的に対応することとし、その他に、強制的に孔の方向を修正する方法として3°のホイップストックを準備した。

### (3) リーミング掘削及びライニング鋼管建込み

パイロット孔の貫通した導坑下部でパイロットビットを切り離しリーミングビットを接続する。ビットは、ローラーカッター12個を搭載した2ステージ型、径1,470mmを使用した。リーミング掘削時の管理基準値は下記の値を標準とした。

\* ビット回転数 15rpm

\* ビット給圧力 60tf

掘削完了後テレビカメラを上部より挿入し約80m間の坑壁掘削状況を調査したが、坑壁下部の軟岩部において壁面の小規模な崩落が認められた。原因は、掘削ズリ及び掘削水の影響と思われる。その他の孔壁は、比較的滑らかな切削痕を残していた。

リーミング掘削の完了後、拡幅掘削時の孔壁保護のためライニング鋼管建込みを行った。ライニング鋼管は、スパイラル鋼管1200A、厚さ8.0mmを使用した。

ライニング鋼管の挿入では、鋼管重量の吊能力のほか鋼管が自重で下降しない場合に備えて最大36tの加圧挿入装置を設置した。結果的には、挿入装置を使用することもなく順調に挿入することができた。

## 3-3 施工実績

仮設及び機器の据付に約2週間を要した後、パイロット孔は約1ヶ月で貫通した(純掘進率の平均は1.2～1.5cm/分)。リーミングの段取りに約10日、その後、約40日間でリーミングを終了した(純掘進率の平均は1.2cm/分)。

機械撤去、ライニング鋼管挿入、固定、仮設備撤去を含めレイズドリリング工法による約250mの導坑掘削を約4ヶ月で完了した。

### (1) パイロット孔の孔曲がり精度修正実績

貫通したパイロット坑の孔曲がり精度は、掘削長248.8mに対し、計画中心線からの偏位量が、水平方向0m、鉛直方向+1.04mの結果を得た。掘削長に対する偏位量は0.4%となり、本工事で設定した許容値1%をクリアした。

スタビライザーの長さを十分にしたツールズ編成(沿角編成)とビット回転数、ビット荷重等を厳しく制御した掘削により、水平方向についてはほぼ計画線どおりの掘削ができた。鉛直方向については計画線より下方に偏位する傾向を示し、掘削中に2回の増角掘削を実施した。修正時は、5～6mの掘進ごとに傾斜角のみロッド内で測定し、編成替えによる効果の確認を行った。

### (2) トラブルと対策

#### a. 逸水・孔壁保持

斜坑上部より50mで想定されていた断層に遭遇した。開口亀裂が認められ、掘削泥水が完全逸泥した。セメントミルク $8\text{ m}^3$ を注入し、固結を待って再掘削し、断層部を通過した。掘削深度36m、123m、140m付近においてもそれぞれ数 $\text{m}^3$ 前後の逸泥があり、逸泥防止材の使用と泥水比重のコントロールにより掘削を継続した。また、導坑施工完了までの孔壁の崩壊を防止するため、パイロット孔の貫通地点20m手前で一時掘削を中止しセメンテーションを行ない孔壁の保持に努めた。

#### b. リーミングビットスタビライザーの抑留トラブル

リーミングビット下部には、傾斜掘削に起因するビット接続部破損の防止及びビット交換、点検の降下を円滑にするためにスカート状のリーミングビットスタビライザーを取り付けた。このスカート部がリーミング開始30m付近で抑留され掘削できなくなり、スカート部の切断撤去を行った。ビット接続部の応力集中を避けるため、ビット径 $1,479\text{ mm}$ に対しスカート外径を $1,465\text{ mm}$ としてクリアランスを小さくしたが、掘削面から落下した岩片がこのクリアランスにくさび状に入り込んだのが原因と思われる。対策として、スカートを4分割にし、径、面積とも縮小したものに改造した。

### 3-5 今後の課題

レイズドリリング工法による斜坑掘削での孔曲が実績の比較(図-4)が示すとおり今回の機器の改良、施工管理の実績により同工法の信頼性が飛躍的に増したといえる。しかし、全線にわたり底設導坑となる位置を確保することはできず、切抜掘削においては切羽を水平にし削岩機と油圧シュベルを交互に搬入し掘削を進める工法を採用した。今回の実績を踏まえ、掘削・測量技術等の改良により孔曲がりの抑制が可能となれば、切抜掘削においても効率の向上が期待できる。また、導坑位置に柔軟に対処

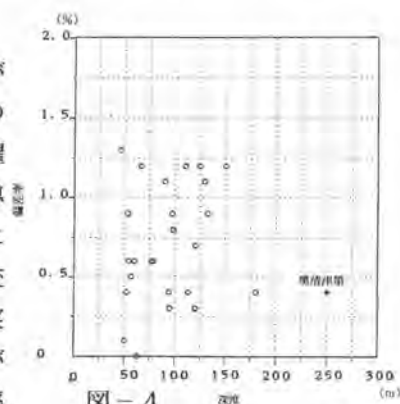


図-4 斜坑掘削孔曲り実績比較

できるジャンボの開発も考慮すべきであろう。導坑断面についても、今回リーミング径 $1,470\text{ mm}$ であったが、状況に応じ最適化する必要がある。

## 4 あとがき

クライマー・レイズドリリング工法とも多くの実績があり新しい工法ではない。しかし、工程・安全面に留意しながら、機器や施工に改良を加え新たな適用を計った今回の実績が、今後の施工計画の一助となれば幸いである。レイズドリリング工法は安全性について優れた面を持っているが、今後、斜坑導坑掘削の1工法として広く採用されるためには、測定技術・掘削制御技術の向上を図り施工精度の信頼性を確保していく必要がある。