

## 9. 小断面トンネルの急速施工システムについて

佐藤工業(株)：今岡 彦三

### 1. はじめに

近年全国的に、用水及び中小水力発電の開発が盛んに進められているが、それに伴い小断面水路等のトンネルの経済的な急速施工法の開発が各方面より要望されている。

小断面トンネルの急速施工法としては、TBMによるものと、発破工法によるものとに大別されるが、今回当社では、各種施工機械の組み合わせ及び作業方法を比較検討した結果、図-3の様な合理的かつ経済的な、発破工法による小断面トンネルの急速施工システムを確立した。

### 2. 工事概要

今回当社が急速施工の確立に成功した奈良俣ダム導水路トンネルは、水資源開発公団から計画、発注された、利根川最上流部に建設中の奈良俣ダム建設工事の一部である。導水路は、利根川の支川、濁ノ小屋沢川の余剰水をダム貯水池に導き、利根川の水の有効利用を図るものである。

導水路トンネルは全長約3200m、インバート水平馬蹄形(2R=2.65m)の断面で、最大10m<sup>2</sup>/Sの流量を導水する予定である。

当社の施工している第一工区はトンネルの上流側で、全長のほぼ半分当たる延長1500m(断面積=8.84~9.16m<sup>2</sup>)と作業坑、延長107m(断面積=7.16m<sup>2</sup>)である。

工期 自昭和59年9月~至昭和62年11月

### 3. 地形、地質

導水路トンネル計画ルート付近の基盤を構成する地質は、水資源開発公団の地質調査資料によれば先ジュラ紀の超塩基性岩及び中世代白亜紀の花崗岩であり、弾性波速度は良好な岩質で概ね4.5~5.0Km/Sである。しかしルート中には数ヶ所の破碎帯が存在し、特に超塩基性岩地帯では工区境付近に約190m区間に渡り、変質した破碎帯が存在した。

岩盤の性状は、ボーリングコアによるRQD値が50~60であり、岩片自体は硬質であるがクラッキーな特性を持っている。また割れ目沿いに薄く蛇紋化したり、滑石化や方解石状の白色鉱物を晶出し、割れ目自体がはく離しやすくなっている。



図-2 地質縦断面



#### 4. 施工機械の選定

急速施工に際し、ずり出し方式は軌条方式を採用した。機種選定にあたり、サイクルタイムの短縮及びロスタイムの減少を目標として下記の項目に重点をおいて検討した。

- |      |              |               |
|------|--------------|---------------|
| 検討項目 | ① 削孔時間の短縮    | ⑥ 省力化の推進      |
|      | ② 長孔発破の実施    | ⑦ 最適作業環境の維持   |
|      | ③ 余掘りの減少     | ⑧ 動力用エネルギーの統一 |
|      | ④ ずり積込み時間の短縮 | ⑨ 安全性の向上      |
|      | ⑤ ずり出し回数の減少  | ⑩ 経済性の向上      |

以上の項目に対して検討した結果、下記に示すような機種を選定し、施工にあたった。

図-3 施工システム図

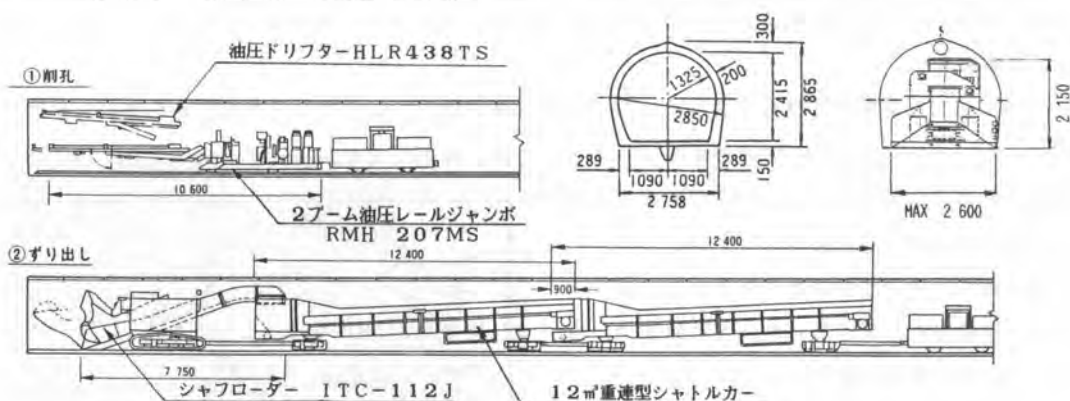


表-1 施工機械 仕様及び性能

削岩機	2アーム油圧レールジャンボ	KEMKO-TAMROCK (RMH207MS)
	油圧ドリフター	HLR 438TS
	ガイドシル長	L=5.245m
	アーム構造	360度 BR構造
動力	440V B2.2kw	
ずり積機	トンネルエクスカベーター	SCHAEFF (ITC-112J)
	走行装置	積込時 クローラータイプ 運搬時 ボントラック
	積込能力 動力	2.0m <sup>3</sup> /分 (公称能力) 440V 37.0kw
ずり運搬機	重連型シャトルカー	
	積載容量	12m <sup>3</sup> /台 × 2台
	連続排出時間	4分/台
	最小回転半径	R=40m
	動力	440V 22kw × 2台
バッテリーロコ	8 Ton	
資材運搬機	バッテリーロコ	4 Ton
	台車	2台
その他	レールゲージ	762mm

シャフローダー及びシャトルカー



各施工機械の特徴は次のようである。

##### (1) 削岩機

この油圧削岩機の特徴は純ノミ下りが1.5～2.5m/分と大きく、削孔は最大で3.1mまで可能である。また孔荒れ防止装置(M式マッドブロー)、長孔発破及びスムーズブラスティングに必要な平行削孔機能(ブーム中心より半径3.0m範囲)、余掘りを減少させるルックアウト装置(固定式4度)

等の特徴を有している。削孔は前方の油圧式アウトリガーにてジャンボを固定して行なう。なお、坑内の搬出入は、バッテリーロコ（Bion）を使用した。

### (2) すり積込機

このすり積込機の特徴は、二種類の走行装置を持ち、坑外へ切羽間の運搬時には、本体底部に装着した車輪にて走行し、切羽におけるすりの積込作業時はタローラータイプに切り替え、自走しながら作業することができることである。すりの積込は、前方のブームによりすりをコンベアー内にかき込み、後続のシャトルカーに連続的に投入する。このため作業性は非常に高い（2 m<sup>3</sup>/分）。また、かき込み運動だけですりを処理するため、車輛の前後運動が無く安全であり、騒音、粉塵の発生も少ない。これらの機能により、こそく、根掘り等の作業も同一機械で施工が可能であり、タローラータイプのため拡幅部の作業にも有効に作動した。

### (3) すり運搬機

シャトルカー使用の利点は、狭いトンネルにおけるすり出し運搬作業において、すり鋼車の入替え作業を省き、一発破すり量を一回で搬出できることである。従って従来の方法に比べすり鋼車の移動、切離し操作や、トンネル拡幅部等が不要となり、すり出し時間も短縮された。なお、シャトルカーの積載容量の算定は、1サイクル進行を1.5 m、すり増加率を1.8倍として算定した。

## 5. 施工順序

### ① 削孔

バッテリーロコにて油圧ジャンボを切羽まで搬入し、削孔する。

### ② 装薬、発破、換気

削孔終了後、直ちに装薬、発破作業を行なう。換気中に油圧ジャンボを坑外へ搬出する。

### ③ すり出し

すり積機とシャトルカーを搬入し、積込機はタローラタイプの自走に切り替え、積込機の前底部にあるすり積テーブルをトンネル幅員に合わせすり積を行なう。

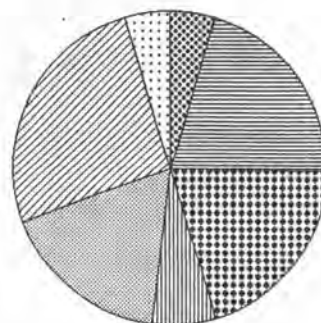
積込終了後、すりと積込機を同時に坑外へ搬出する。

### ④ 支保工建込

すり積終了後、削孔中に搬入した支保工を建込む。

以上の作業をくり返し掘進するが、1サイクル当りの作業時間は約150分である。

図-4 掘削サイクルタイム

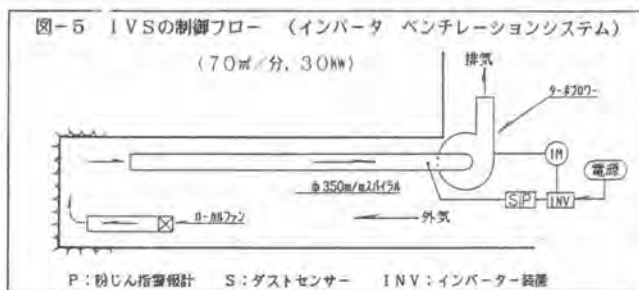


準備	4.7%	7
削孔	20.7%	31
装薬、発破	20.0%	30
換気	6.7%	10
すり出し	17.3%	26
支保工	26.0%	39
その他	4.7%	7
合計	100.0%	150

## 6. その他設備

換気方式はトンネルが小断面であるため、坑内運行がスムーズに行なえ、視界が良好になる様、排気方式によるインバータ・ベンチレーションシステムを採用、風管はφ350 mmのスパイラル銅管を使用、切羽においては小型の局所型循環ファンを併用した。このシステムは、切羽の粉塵濃度をセンサーにて感知し、その濃度に応じた風量を段階的にコントロールして換気するものである。従って

発破等の粉塵作業後は自動的に換気の運転出力が上昇し、短時間の換気が可能であり、また通常は低出力で運転され、最適作業環境を維持しているため、省エネルギー効果にも優れている。



## 7. 施工実績

本坑全体については新鮮な岩はほとんど見られず、全区間有支保工タイプにて施工した。

掘削実績は、平均月進L = 209 m/月、最大月進L = 315.6 m/月を記録した。

なお、今回は地山が悪く、全区間有支保工区間となったが、岩質が良好で長孔発破（L = 3.0 m）が施工できれば、なお一層の進捗が得られたと思われる。

- (1) 掘削期間 昭和60年6月21日～61年6月19日（実稼働日 180日）  
 (2) 掘削延長 No. 0+08m ~ No. 15+12m（施工延長 1504m）  
 (3) 平均日進（実稼働） 1504m ÷ 180日 = 8.36m/日（月平均進行 8.36m ÷ 25日 = 209m/日）  
 (4) タイプ別平均進行

タイプ		累計基数	延長 (m)	延長比率	日施工サイクル数	平均月進	平均月進 (25日/月)
香 口 方	A	-	-	-	-	-	-
	B	365基	534.0	35.5%	47.9日	7.43 S/D	11.15 M/D
	C	402基	480.9	32.0%	51.5日	7.81 S/D	9.37 M/D
	D	147基	132.3	8.8%	22.6日	6.50 S/D	5.85 M/D
小計		905基	1147.2	76.3%	122.0日	7.42 S/D	9.40 M/D
吐 口 方	A	-	-	-	-	-	-
	B	7基	10.5	0.7%	1.1日	6.36 S/D	9.54 M/D
	C	91基	108.7	7.2%	14.9日	6.11 S/D	7.33 M/D
	D	264基	237.6	15.8%	42.0日	6.29 S/D	5.66 M/D
小計		362基	356.8	23.7%	58.0日	6.24 S/D	6.51 M/D
全体		1267基	1504.0	100.0%	180.0日	7.04 S/D	8.36 M/D

- (5) 最大日進 A 9ㄗ ロックドリル 3本 ピッチ 1.5m  
 B 9ㄗ H-100 ピッチ 1.5m 1.5 × 10 = 15.0m/日  
 C 9ㄗ H-100 ピッチ 1.5m 1.2 × 12 = 14.4m/日  
 D 9ㄗ H-100 (H-125) ピッチ 1.5m 0.9 × 10 = 9.0m/日  
 (6) 最大月進 昭和60年11月1日 ~ 11月30日 315.6m/月

## 8. おわりに

現在、当工区は、ほとんどの工種の施工を終え、通水を待つばかりとなっている。

当社の開発した小断面トンネルの急速施工システムは、掘削終了までトラブルも無く、非常に合理的でロスの少ない安定したシステムであることが実証された。また従来の工法に比較して、施工面の速さだけでなく ① すり積込時の機械の前後運動、鋼車等の入替、切離し等の作業が少ない。② 坑内での機械の運行回数が少ない。③ 人員の省力化が期待できる。④ 切羽や坑内に不要な資機材が少ない。等のメリットがあり安全な工法であると思われる。

以上施工実績を述べてきたが、今後とも安全で経済的な施工法の開発に積極的に取り組んでいきたいと考えている。