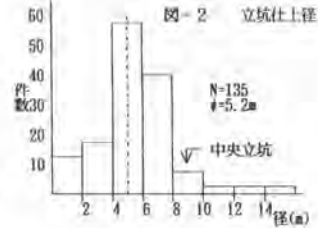
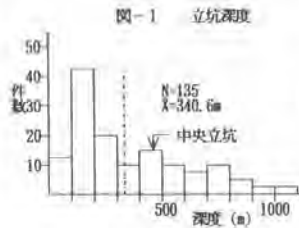


14. 深さ481m、直径11mの換気用立坑の施工

清水建設(株)：井上 孝俊・*星 幸夫

1. はじめに

我が国における立坑の施工は鉱業部門に多く、施工総延長は約40000m程の実績がある。それに対し道路の換気用立坑の施工総延長は現在まで約5000m程である。また鉱業部門での最大深度は1044mに対し、道路の換気用立坑は中央高速道路恵那山中



津川立坑の620mである。図-1及び図-2に日本の立坑施工実績のヒストグラムを示す。過去に日本で施工された立坑の標準的な規模は掘削深度で100m~300m仕上り径で4m~6mであり、今回施工の深さ481m掘削径11mの立坑は大深度、大断面の日本でも有数の大規模立坑である。現在掘削工事を完了したところであるが、現在までの施工状況等について報告する。

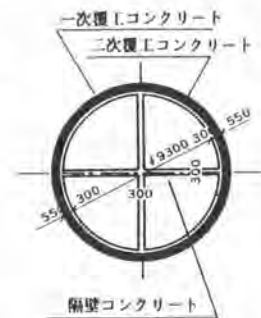
2. 阪奈トンネル中央立坑の概要

国道308号のバイパスとして建設の進む第二阪奈有料道路建設工事のうち、大阪府と奈良県境に位置する生駒山を貫く延長5.6kmの阪奈トンネルの中央付近に建設する換気用立坑が本題の中央立坑である。表-1に工事概要一覧表

表-1 工事概要一覧表

工事名	第二阪奈有料道路建設工事(中央立坑工区)
工事場所	大阪府東大阪市山手町
発注者	大阪府道路公社
施工者	清水・三井・日本国土・竹中土木共同企業体
工事内容	施工深さ 481m 掘削径 11m 掘削断面積 95m ² 一次覆工 8,500m ³ 二次覆工 7,000m ³

図-3 標準断面



を、図-3に標準断面図を示す。工法は掘削断面積95㎡を全断面発破切下がり工法で、ショートステップ方式の交互築壁工法を採用している。

3. 地質概要

生駒山系の基盤岩は、頷家複合岩類の花崗岩、閃緑岩、片麻岩類及び、これらを貫く脈岩類より構成されている。中央立坑の地質は中粒閃緑岩が主体で、一軸圧縮強度 2,000kgf/cm²以上の堅硬緻密なものが多い。

4. 使用機械

本工事の使用機械の特徴は、大断面大深度立坑に相応して大型化している。またほとんどが電動機械で、一般の横トンネルに比べてシステムチックに制御され、いわば工場化された作業となっている。

(1) 立坑機械システム

立坑は、大断面大深度になるほど、ずり処理時間が工程を左右する為、巻上設備、ずり積込設備、搬器設備等の機械設備がコストや作業能率、省力化の面で合理的になるよう計画を定めている。能率では人荷すべてが巻上機によって運搬される為、巻上げ速度は速い方がすべての面で有利である。一方、ずり処理では、ずりキブルの容量が大きく、ずりキブルの搬出回数を少なくすることが有利である。この巻上げ速度とキブルの容量（巻上荷重）の関係は、

$$P = \frac{W V}{6120 \eta}$$

ここで W：巻上荷重 (kg)

V：巻上速度 (m/min)

η ：機械効率 0.8

P：巻上機動力 (kW)

で表わされる。したがって巻上機所要動力を定めた時に巻上速度と巻上荷重は反比例する。今回工事では巻上機所要動力 600kW、ずりキブル 6m³ で最大荷重 20t、巻上速度140m/minをコスト

や能率の面で最も合理的であると判断した。これらの機械設定を基本にずりキブルの自動転倒装置による省力化や巻上機の巻上速度の自動制御、ブレーキ系統の二重の安全性等を組み込み、立坑の運搬に関わる機械システムを計画している。またこの運搬システムにコンクリート打設システム、ずり積込みシステム、削孔システム等を組み合わせて一連の立坑機械システムを完成させている。

(2) 削孔機械

基盤岩が堅硬緻密な閃緑岩であること、巻上機動力が大きく重量の大きい機械を選定できることから日本で初めての4ブーム油圧シャフトジャンボを採用した。大断面での削孔数を考えると4ブームでは物足りない感はあるが、重量、寸法等の制約から今回は適当であると判断した。またスカホード搭載型の油圧削孔機も検討したが、スカホードのスペースとメンテナンスを考慮して、坑口格納型のシャフトジャンボとした。

(3) ずり積込機械

立坑でのずり積込み機械としてはグライファ、ショベル、シャフトマッカ等が考えられ、それぞれ長所短所はあるものの、今回は0.55m³のシャフトマッカを採用した。隅部のずり取りを考慮して二重旋回タイプとしたため補助機械を必要とせず全周のずりを取り切ることができる。

(4) 昇降設備

10人乗りのエレベータを設備している。これにはセフティキャッチ装置がセットされており、主ロープ切断時はガイドロープをキャッチして停止するものとしている。またエレベータ以外に昇降設備が無いため、停電時の対応として変電所内に自家発電機を常備している。

(5) 換気設備

換気は送排気の2系統を運転している。坑口に1,000m³/minのコントラファンを設置し、φ900mmの

表-2 主要機械一覧

項目	名称	仕様	備考
削孔	シャフトジャンボ	油圧4連装	150kg級
ずり積み	シャフトマッカ	0.55m ³	二重旋回
ずり運搬	ずりキブル	6.0m ³	自動転倒装置
	キブル巻ウインチ	600kW DC	140m/min
巻上機	スカーフ巻ウインチ	55kW×2	3m/min
	エレベータ巻ウインチ	75kW	10人用95m/min
立坑構	ガイド巻ウインチ	15kW	
	構設備	高さ25mH型	
坑内吊足場	スカホード	2段φ9.5m	鋼筋φ3.5m
一次覆工	スライドセントル	L=1.8m	
コンクリート運搬	コンクリートキブル	3.0m ³	エアシリンダ
二次覆工	スリップフォーム	L=1.5m	

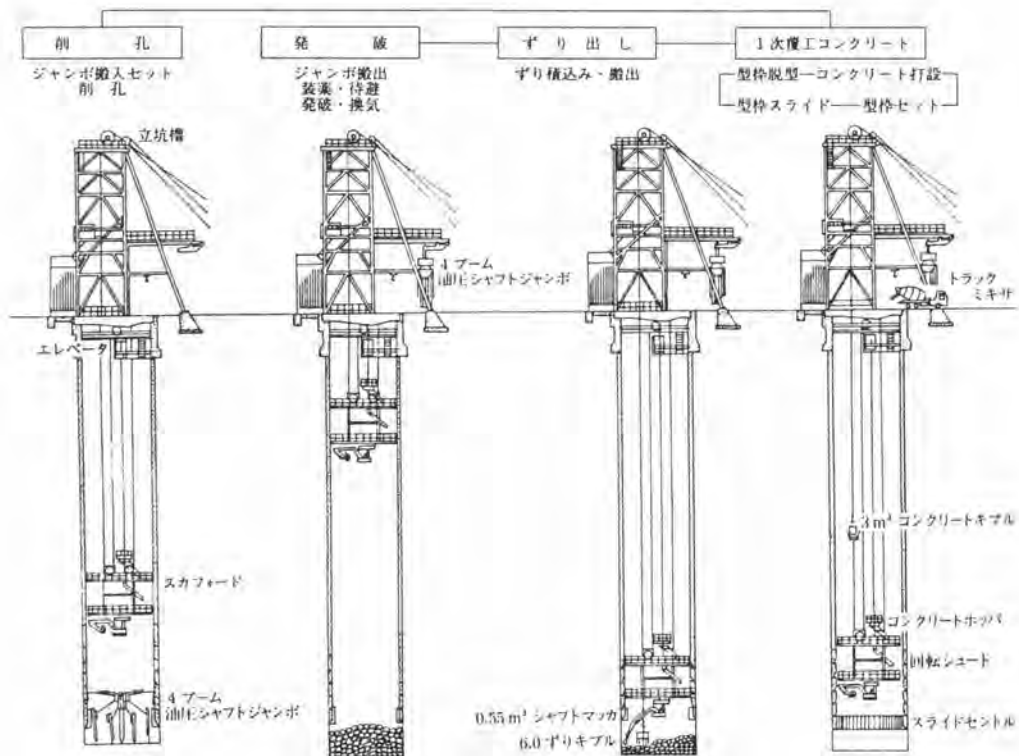


図-4 本体部施工順序

スパイラルダクトを坑内に配管して排気を、 $100\text{m}^3/\text{min}$ のハイプレッシャーファンに $\phi 300\text{mm}$ の鋼管を配管して送気を行っている。

5. 施工状況

(1) 削孔・発破作業

掘削断面積 95m^2 を全断面発破切下がり工法で施工している。削孔長は 2m 、削孔数は平均 240 孔、薬量はサンベックス種で $1.1\text{kgf}/\text{m}^3$ 程度となっている。雷管はDS電気雷管 $1\sim 8$ 段を使用している。進行長は一次覆工のセントル長 1.8m を十分クリアしており、一発破一覆工のペースで施工している。

削孔は4ブーム油圧シャフトジャンボを使用しており、 $3\sim 41/\text{min}$ の削孔水に $0.3\sim 0.5\%$ の界面活性剤を混入し発泡装置によってビット先端から泡を噴出し、粉塵防止と孔荒れ防止を目的とする泡削孔を行った。この泡削孔によって空線りに比べてかなりの粉塵を防止でき、また、線り粉が泡と一緒に完全に排出されるため孔尻がほとんど残らない。

(2) ずり搬出

ずりの搬出はスカホードに取り付けている 0.55m^3 の二重回転タイプシャフトマッカーで 6m^3 のずりキブルに積み込み搬出している。ずり搬出は、発破後一次覆工セントルの下端から 1.8m になるまで1回目の搬出を行う。残りずりを均して、この上にセントルをセットし、コンクリートを打設する。打設後2回目のずり搬出を行い、残りずりを処理する。1回の発破により 6m^3 のずりキブルで45箇前後のずりが発生する。ずりキブルは1時間に $3\sim 4$ 箇程度搬出し、櫓の自動転倒装置によりキブルをシュート上

へ転倒させ坑口のずり仮置場に集積する。

二重回転シャフトマッカは全周のずりを作業性良く取切ることができるが、スカホールド下部に固定しているため、旋回部に応力が集中したり、発破の飛石による油圧ホースの破損等、時々トラブルを起こしている。しかし他の積込み方法に比べて能率は良いと考えている。

(3)一次覆工

ずり搬出がセントルの下端から1.8mの深さまで進んだ時点でずり搬出を中断し、盤を均して一次覆工に入る。セントルを前回打設部から脱型し、ウインチにより降下させ、調整ジャッキによりセンターから正しい位置にセットする。コンクリート打設は、場内のパッチャープラントからトラックミキサーで生コンを坑口まで運搬し、3m³のコンクリートキブルに積込み、スカホールド上段のコンクリートホッパーから回転シュートを経て、全周のコンクリートを打設する。

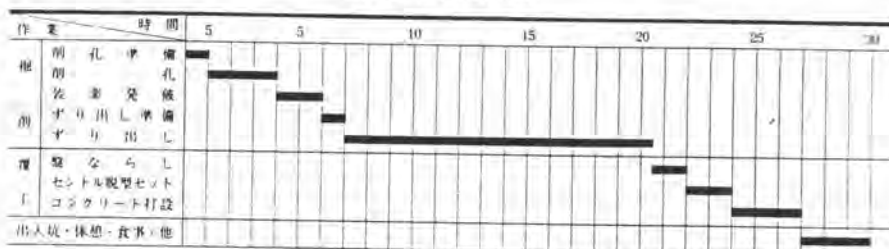
覆工はショートステップ工法のため、短時間でセントル直下の残りずりの掘削とセントルの脱型が行われる。したがってコンクリートは早期強度を必要とする。コンクリート打設後セントル直下のずりが掘削されるのは7時間後で、そのときの必要強度は計算上では約9 kg/cm²である。またセントルが脱型されるのは24時間前後で、そのときの必要強度は30 kg/cm²である。これらを踏まえ、試験練りを実施し示方配合を定めた。

またショートステップ工法では、コンクリート打設後短時間のうちに直下における発破が行われるため、発破振動による影響も心配されたが、特にクラック等は観察されていない。

6. サイクルタイム

立坑掘削延長481mのうち、240mの位置での標準サイクルタイムは昼夜2交替作業で、1サイクル1.8mが約30時間となっている。そのうち50%はずりの搬出、20%が削孔・発破、20%が一次覆工、その他10%となっている（岩質区分C、鋼製支保工なしの場合）。

表-3 サイクルタイム



立坑本体部の掘削工事は平成4年10月に開始し、平成6年3月に完了したが、この間の掘進スピードは平均月進26m、最高月進34.2mを記録した。

7. おわりに

日本における立坑の施工は鉱業部門の衰退により数少なくなっている。しかし今後は長大道路トンネルの施工に伴う換気用立坑、また地下揚水発電所、核廃棄物処理に伴う立坑の施工が考えられ、さらなる大深度大断面立坑の設計施工に参考になれば幸いである。