

# 海底に設置した構築物と海底トンネルを繋ぐ立坑の構築

## —密閉型推進機を用いた上向き導坑掘削—

Construction of the vertical shaft between the undersea tunnel and the outlet

— Upward excavation of a pilot shaft using the sealed type excavator —

穴田文浩<sup>1)</sup>・西田勝幸<sup>1)</sup>・大坂和弘<sup>1)</sup>・福與智<sup>2)</sup>・永田健二<sup>3)</sup>

Fumihiro Anada, Katsuyuki Nishida, Kazuhiro Ohsaka, Satoshi Fukuyo, Kenji Nagata

In Shika Nuclear Power Plant Unit No.2, cooling seawater from the condenser is planned to be discharged through the undersea tunnel, as well as Unit No.1.

The vertical shaft between the tunnel tip and the outlet caisson was constructed from the tunnel. The pilot shaft was excavated upward from the tunnel to the outlet caisson after grouting, and then was expanded to diameter of 6m. A tightly water sealed type excavator was used to excavate the pilot shaft to ensure safety and workability.

This paper describes the results of upward excavation of the pilot shaft using the sealed type excavator.

**Key Words** : undersea ground, grouting, vertical shaft, pilot shaft, excavator

### 1. はじめに

現在建設中の志賀原子力発電所2号機では、発電所で用いた冷却用海水を海底トンネル（水平坑および立坑からなる）にて沖合まで導水し、沈設した南北2箇所の放水口より水中放水する計画としている。放水口と水平坑を結ぶ立坑は、止水注入から掘削に至る一連の作業を全て海底トンネル内部より施工するという前例のない工法により構築しており、本発表会投稿の「海底に設置した構築物と海底トンネルを繋ぐ立坑の構築—止水注入における揚圧力対策と計測管理—」では、止水注入時の技術的課題とその対策について報告した。

本稿は、止水注入に引続き実施した海底トンネル内部からの掘削工事のうち、上向き導坑掘削の計画概要および施工実績を通して、止水機能を備えた推進機の特徴とその適用について報告するものである。

### 2. 地形・地質概要

地形および地質は、「海底に設置した構築物と海底トンネルを繋ぐ立坑の構築—止水注入における揚圧力対策と計測管理—」に記載したとおりである。また、岩石試験により得られた一軸圧縮強度は、15N/mm<sup>2</sup>の中硬岩から150N/mm<sup>2</sup>の硬岩まで広範囲にわたり、原地盤の透水係数は $5.0 \times 10^{-4} \sim 2.0 \times 10^{-3}$ cm/sであったが、掘削にあたり岩盤に懸濁型水ガラスを注入することにより $5.0 \times 10^{-5}$ cm/s以下となるよう改良した。

- 
- 1) 北陸電力株式会社 志賀原子力発電所建設所
  - 2) 五洋建設株式会社
  - 3) 前田建設工業株式会社

### 3. 掘削工法の選定

立坑を鉛直に切り上げる工法としては、アリマックライマーを用いた掘削方法およびレイズボラー、シールド等による機械掘削方法がある。今回の作業は海底下で実施するため、止水機能を有しないアリマックライマーおよびレイズボラーでは安全上問題がある。また、立坑は21mと

短いことから、機械による全断面の切り上がり掘削は経済的でない。このため先進導坑方式を検討し、直径2.4mの導坑を放水口まで到達させた後、放水口内部を作業スペースとしてNATMにより直径6.0mで切り下がる工法を採用した(図-1, 図-2)。

また、導坑掘削にシールドを用いる場合、セグメントの人力組立て作業を狭隘かつ高所となる切羽側の導坑内において行う必要がある。一方、推進機の場合、立坑下側においてセグメントの組立て作業を行い導坑内の高所作業が発生しないことから、本工事には推進機(写真-1)を用いることとした。

### 4. 推進機による工法の特徴

掘削施工前の湧水対策として、岩盤中に止水注入を行うとともに、導坑到達地点となる放水口基礎コンクリートに打設ジョイントを設けないなどの対策を講じ安全性を高めている。しかし、掘進にともなって、構築物と基礎岩盤との境界部や潜在的な亀裂が新たな水みちとなり、湧水が増加することが懸念される。掘進中に湧水が増加した場合、狭隘な導坑内部からの止水注入等は困難である。そこで、推進機としての基本機能のほか、湧水が生じても導坑内へ流入することがないよう密閉性が保持できる機能を装備した。

#### (1) 推進機の基本機能

- ① 掘進機能:元推し装置の能力として、推進機およびセグメント重量、岩盤破碎に要する押し付け力、密閉時の水圧、摩擦等を考慮し、7,840kN(784kNジャッキ10本)の推力を確保した。また、地盤の強度等から直径12インチのディスクカッターを18個装備し、カッター1回転あたりの切り込み深さを1.0cm/revとして、これに見合うカッタートルクを確保した。

- ② 方向制御:掘進時の回転トルクおよび揺動に対し方向を制御するため、グリッパーを4基装備した。

なお、立坑は2箇所あることから、推進機を2台必要とするが、掘進距離が短いことから主部品(元推しジャッキ、方向修正ジャッキ、ビット等)を転用することによりコストダウンを図った。

#### (2) 推進機に付加した機能

従来の推進機は掘削ずりを中心部に装備した排土管により自由落下させる構造であったが、今回は、この排土管上部に2段のシャッターゲートを装備することにより止水機能を付加した(図-3)。湧水が急激に増

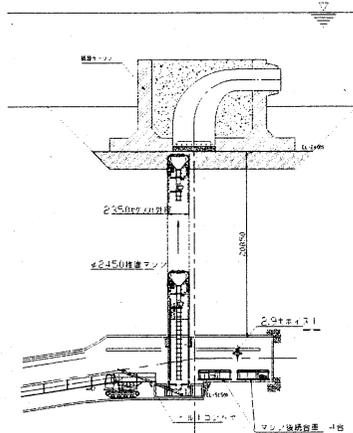


図-1 切り上がり概要図

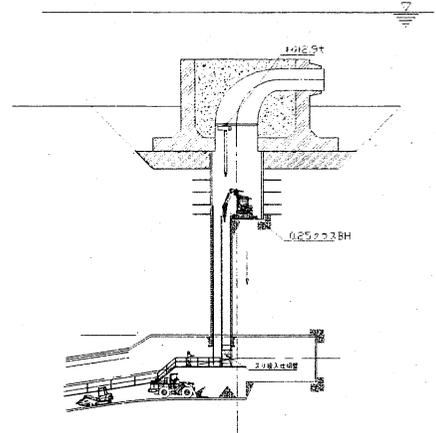


図-2 切り下がり概要図



写真-1 密閉型推進機

加した場合にはゲートの開閉操作を行うことにより、チャンバー内の密閉状態を維持しながらの排出を可能とし、異常な湧水があっても掘進が継続できるようにした。この排土管の機能と合せ、止水機能を有した鋼製セグメントを用いることなどにより導坑全面で止水できるようにした。

なお、推進機は、放水口基礎コンクリート（厚さ 2m）内で停止させ、推進機外周に装備した 2 段の止水チューブを加圧膨張させることにより導坑内への湧水を遮断する構造とした。この止水チューブの使用により、チャンバー内への湧水は完全に遮断され、面板撤去等の後続作業をドライな状態で行うことができる。

### (3) その他の機能

- ①初期掘進時の姿勢制御：初期掘進時（推進機が地山に入るまでの間）は、坑口に設置したガイド柱に揺動防止ストッパーを設置し姿勢を制御した。
- ②ローリングの防止対策：カッタートルクの瞬間的な増加に対し、セグメントと元推し装置の接続部が十分抵抗できるよう、ジャッキスプレッダーとセグメントをボルトレス緊結金具で摩擦接合し両者の一体化を図った。
- ③周面摩擦対策：掘進中の坑壁の安定を図るため裏込め注入を実施したが、これが推進機に周面摩擦として影響を与えることのないよう滑材的な効果も期待し、充填材としてセメントと水ガラスからなる LW を使用した。

## 5. 施工管理

### (1) 掘進管理

元推しジャッキと最下端セグメントの間は摩擦接合となっており、カッタートルクがその摩擦力を超えた場合、この部分は回転しずれが生じる。また、カッタートルクが面板回転系モータの能力を超えた場合は、推進機の健全性が損なわれる。したがって、掘進中はセグメントの回転防止および推進機の健全性を保つため、カッタートルクが許容値を超えないよう管理した。

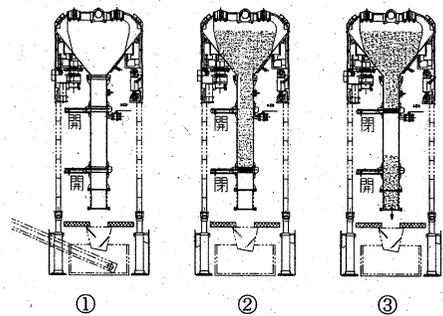
### (2) 線形管理

推進機から下げた 2 本の下げ振りと最下端セグメントの中心位置を測量することで、線形を管理した。

## 6. 施工実績

### (1) 掘進実績

導坑掘削の実績を図-4 に示す。初期掘進時は推進機の揺動が大きいことから、極力切り込み深さを小さくした。推進機が導坑掘削径の 2 倍程度地山に入ると側壁の支持効果から姿勢も保持しやすくなり、また、設定切り込み深さに対し推力も十分余裕があったこと



- ① 通常は上下のゲートを開けて掘削
- ② 下を閉めて掘進し排土管内に土砂を溜める
- ③ 上を閉めて下を開けて排土する。

②～③を繰り返す

図-3 湧水時の掘削、排土概念図

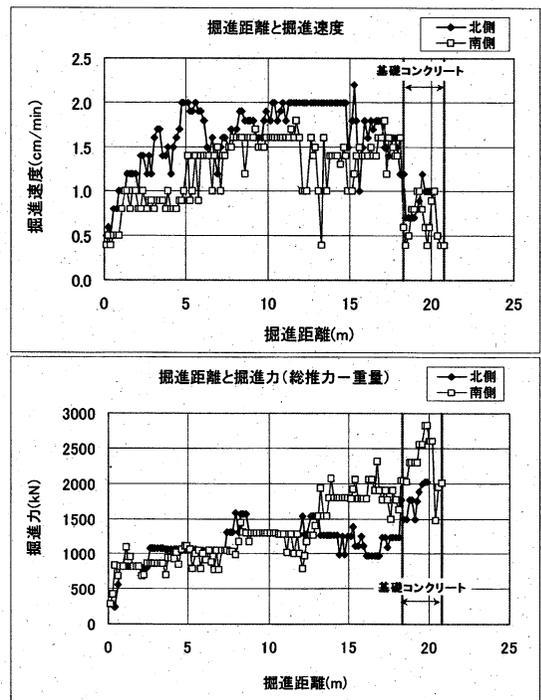


図-4 掘進速度、推進力の実績

から、面板の回転速度を最大とすることにより掘進スピードを上げた。なお、南側の掘進で12m以降の推力が上昇しているのは、一軸圧縮強度の高い礫を含む岩盤を掘進したためである。基礎コンクリートの切削にあたっては、切り込み量を4mm/revまで落とし、トルクの上昇を抑えながら掘進した。

平均掘進速度は、約1cm/分であり、放水口底部までの21mを北側は13日、南側は12日で掘進を完了した。また、線形管理の結果は、到達誤差が50mm（鉛直精度0.3%）程度と十分許容できる範囲であった。

## （2）湧水状況

図-5に立坑切り下がり掘削時の湧水量を示す。観測された湧水量は最大で約17ℓ/min（北側立坑）であり、計画時に推定した湧水量の約1/4であった。この湧水量から計算した岩盤の透水係数は $1.2 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ 程度となり、目標値以上に改良されていた。

## 7. 本施工を通しての成果

今回採用した導坑掘削により以下の成果が得られた。

- ①密閉機能を工夫した今回の推進機を用いることにより、海底面に向けての切り上がり作業という条件下であっても安全に掘削することができた。
- ②推進機は、一軸圧縮強度が約 $15\text{N}/\text{mm}^2$ の中硬岩から $150\text{N}/\text{mm}^2$ の硬岩まで広範囲に亘る岩盤であっても、高い掘削性能を発揮し、短期間で掘削できた。
- ③本地盤においては、ディスクカッターの設定切り込み量1cm/revに対し、安定した推力で掘進し、最大日進3.0mを記録した。また、線形管理については、到達誤差が50mmであり十分許容できる範囲であった。なお、地山の変化に合わせて切り込み量を制御できるよう可変速としており、トルクの上昇に対しては切り込み量を低減することで対応可能である。

なお、今回の立坑施工技術は、近年の都市土木における作業空間が限定された場合にも十分適用可能であると考えられる。

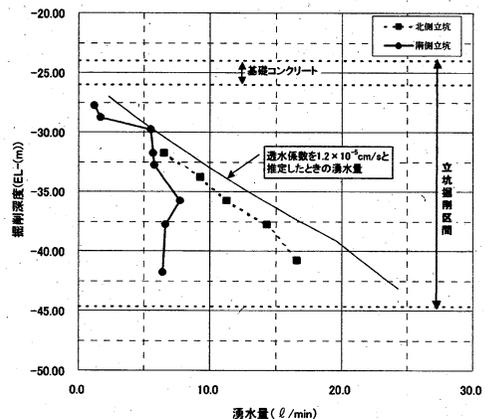


図-5 立坑切り下がり掘削時の湧水量

## 《謝辞》

志賀原子力発電所における海底トンネル工事にあたっての御指導はもとより、本稿のとりまとめに際しまして多くの御助言を賜りました土屋敬金沢工業大学教授（現在、アルスコンサルタンツ(株)技術顧問）および太田秀樹東京工業大学教授に深く感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 米谷富裕, 西田勝幸, 正岡顕宏: 志賀原子力発電所2号機 岩盤対応型泥水加压式シールド工法による放水路の施工, 電力土木, No.294, p.69-73, 2001.
- 2) 西田勝幸, 大坂和弘, 土屋 敬, 永田健二: 岩盤対応型泥水加压式シールド工法を用いた海底トンネルの掘進実績, 第57回土木学会年次学術講演会, 2002.
- 3) T. Yonetani, T. Nakagawa, K. Nagata, S. Fukuyo: Constructing the undersea rock tunnel using various tunnel excavation techniques, Proceedings of the ITA world tunneling congress 2003 AMSTERDAM, pp. 461-467, 2003.