

# 龍門（核四）計画循環冷却水放水路工事

—外洋における没水型鋼管矢板井筒工法による水中放水口並びに放水路トンネルの建設—

石丸 裕

本工事は、台湾北東臨海部に建設中の龍門（核四）原子力発電所新設工事のうち、循環冷却水を海中に放水するための放水口及び放水路をそれぞれ2基新設するものである。

放水口は海岸から約800m離れた沖合の海底に鋼管矢板井筒工法により施工するもので、放水路となるシールド機が到達する没水型の立坑である。

放水路トンネルは、複合地盤対応型の泥水加圧式シールドにて掘進し、到達側没水立坑のJ字型放水管下部受口と海底にて接合させるものである。

本編では没水型鋼管矢板井筒工法による水中放水口の施工、並びに泥水加圧式シールドと到達側立坑との海底下での接合工事について述べる。

キーワード：鋼管矢板井筒，シールドトンネル，海底下到達・接合

## 1. はじめに

工事は表—1 工事諸元に示すようにシールドの発進立坑，陸上放水路との接続部分である接続暗渠，放水路トンネル並びに水中放水口（到達立坑）で構成される。今回はそのうち、水中放水口、並びに放水路トンネルの施工について記す（図—1）。

## 2. 水中放水口の施工

水中放水口は図—2 に示すように、鋼管矢板、鋼管杭、J管モジュール、水中不分離コンクリート（ハイドロクリート）並びにマルチノズル排水口（放水口）からなる。

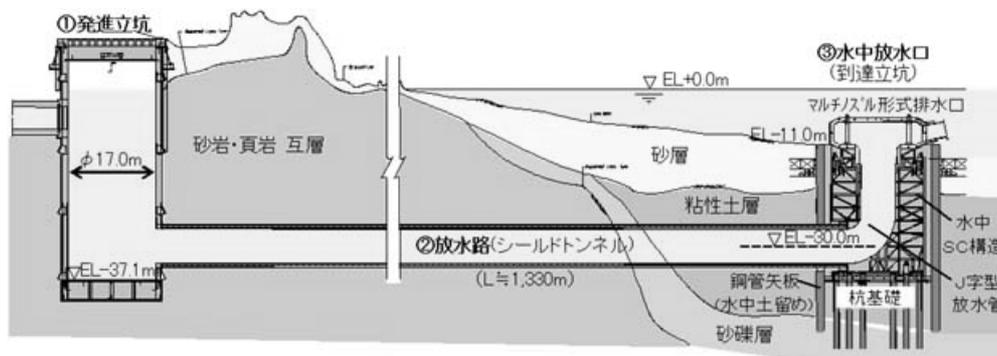
水中放水口（到達側没水立坑）の施工順序を図—3 の施工フローに示す。

表—1 工事諸元

発進立坑	φ20m × H53m 2基 山岳工法 吹付け，ロックボルト
接続暗渠	□4.25m × 4.2m × 90m
放水路トンネル	φ8.3m × L1,330m × 2基 泥水加圧式シールド工法 セグメント外径8.1m 内径7.3m (二次覆工仕上り内径6.7m)
水中放水口 (到達立坑)	φ20m × H26.3m 2基 鋼管矢板井筒工法 (写真—1) J管 (写真—2) マルチノズル (写真—4) 各2基

### (1) 鋼管矢板打設

鋼管矢板（φ1,500，L=36.3m）の打設作業は、打設精度確保のために導材をSEP（自己昇降式作業台船）舷側に設置した上で、水深11mの海底に、SEPに搭載した180Tクローラクレーンと油圧パイプ



図—1 全体図

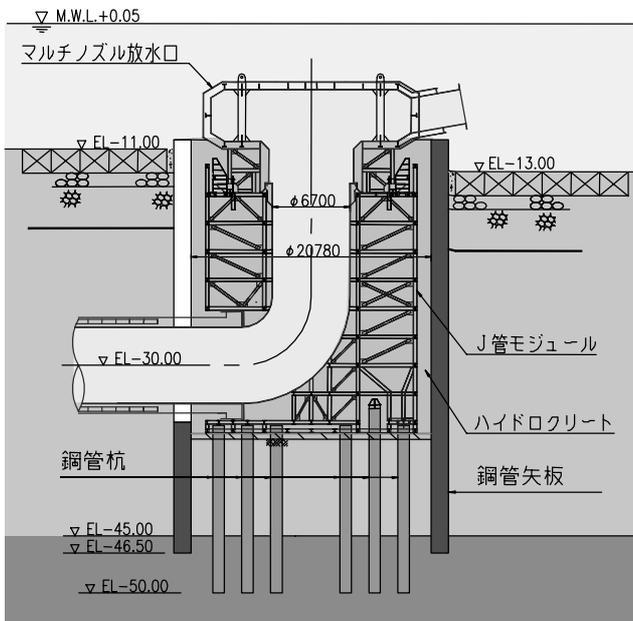


図-2 水中放水口（到達側没水立坑）

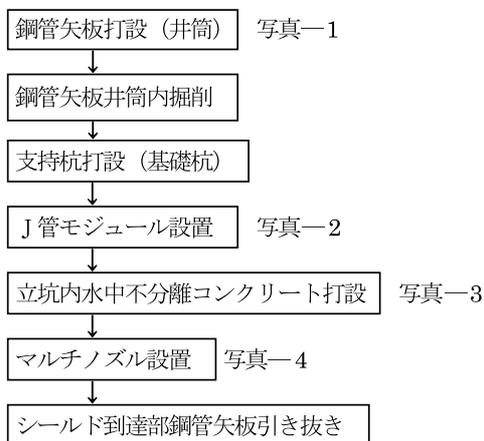


図-3 施工フロー

ロハンマ並びに油圧打撃ハンマにて打設した。打設中の状況を写真-1に示す。



写真-1 鋼管矢板打設（井筒工法）

## (2) 鋼管矢板井筒内の掘削

鋼管矢板打設後、頂部に円形の土留め支保工を設置した後、水深37mまで7m<sup>3</sup>グラブで井筒内の掘削を行った。掘削時は周辺海域の汚濁防止として、浮体枠形式の汚濁防止膜を使用した。

## (3) 支持杭打設

水深37mの井筒内掘削底面に、放水口の支持杭となる鋼管杭（φ1,000）を30本打設した。大深度海底への打設であるため、43mの長尺ヤットコ（水中杭打ち補助鋼管）を使用し、SEP舷側に設置した導材をガイドにしてフライング打設を行った。

## (4) J管モジュール沈設

J管モジュールはJ字型放水管とそれを保持する鉄骨構造からなる鋼重534t/基の大型鉄骨モジュールである。J管モジュールは台湾内において製作し、1,600t吊起重機船で製作地の港から現場まで海上運搬し、立坑内に沈設した。写真-2にJ管モジュールの沈設状況を示す。

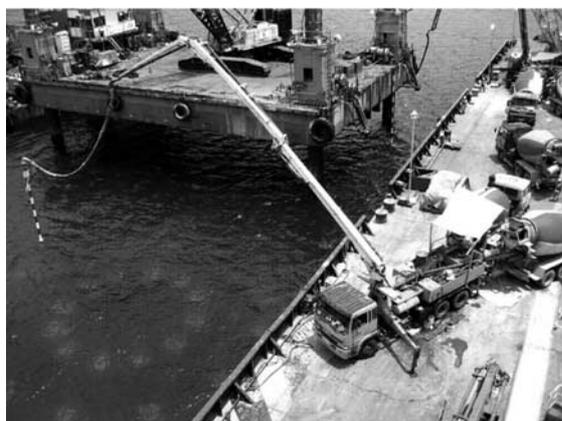


写真-2 J管モジュール沈設

## (5) 立坑内水中不分離コンクリート打設

J管モジュール設置後、立坑内のJ字型放水管の外周に水中不分離コンクリート（ハイドロクリート）を打設した。この打設は、陸上のプラントで練ったハイドロクリートを、コンクリートミキサ車ごと台船輸送し、台船上に載せたコンクリートポンプ車で直接打設した。打設数量は立坑2基で約14,000m<sup>3</sup>であったが、1,000m<sup>3</sup>/日の打設量を実現でき、約2週間で打設作業を完了した。

打設状況を写真-3に示す。



写真—3 水中不分離コンクリート打設

### (6) マルチノズル放水口の設置

ハイドロクリート打設後、マルチノズル放水口を設置するが、この放水口は直径 17.3m の鋼製円筒構造に  $\phi$  3.0m の出水口 4 基を備えたもので、鋼重約 460t/基、マルチノズル形式の放水口としては世界でも最大規模のものである。マルチノズル放水口も台湾内で製作し、2003 年 6 月に起重機船で海上運搬し立坑内に据付けた。据付完了後、マルチノズル放水口下部まで根固めコンクリートを打設した。

写真—4 にマルチノズル放水口の設置状況を示す。



写真—4 マルチノズル放水口設置状況

### (7) シールド到達部鋼管矢板引き抜き

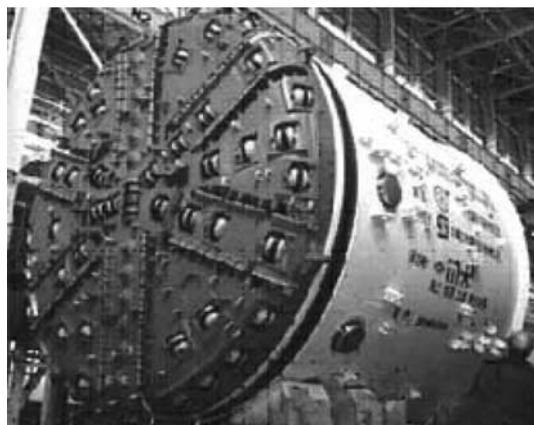
水中放水口完成後、シールドマシン到達部の鋼管矢板を水中切断し、油圧パイロハンマで引抜いた。

## 3. 放水路トンネルの施工

放水路トンネルは陸上発進立坑から到達側没水立坑まで延長 1,330m あり、土被りは発進側で約 38m、到達部で海底地盤面下約 15m となっている。

トンネル縦断地質は発進側から 900m が岩盤(砂岩、

頁岩とその互層)で到達側の 430m が砂礫層と軟弱粘性土層であった。特に到達部の粘性土層は台湾独特の付着力の少ない微細砂であり、立坑到達時には最も気を遣わなければならない土質である。さらに立坑到達部は充填コンクリートを 3m 掘進する必要がある、こういった複雑な地質並びに高水圧に対応可能な泥水加圧式シールド工法を採用した(写真—5)。

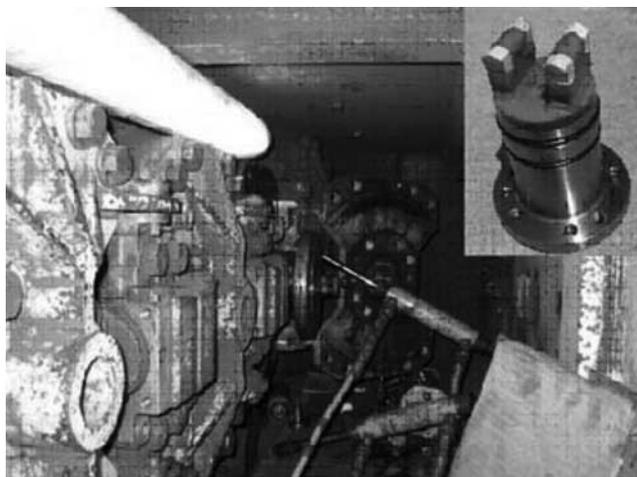


写真—5 泥水加圧式シールド機

### (1) シールド機の特徴

今回のシールド工事は長距離の岩盤掘進であり、また、 $q_u = 100\text{N/mm}^2$  以上の砂岩があることから、シールド機のカッタービットは、この岩盤を対象に 19 インチの大型ローラビットを採用した。また、到達側の粘性土及び到達立坑コンクリート切削に対応するため、シールド機内からビット交換が可能なりレービットを装備した。写真—6 にリレービット交換状況とビット本体を示す。また、海面下での到達立坑との接合のため、シールド機に止水用シールとフード部凍結管並びに地盤改良用注入管を装備した。

表—2 に今回採用したシールド機の特徴を示す。



写真—6 リレービット交換状況とビット本体

表—2 シールド機の特徴

項目・要求性能	仕様・特徴
シールド外径, 機長	8.28m, 8.76m
長距離岩盤掘削への対応	19インチ大型ローラビットの採用
硬岩 (100N/mm <sup>2</sup> ) の掘削	高速・高トルクカッタの採用
大水深・高水圧への対応	総推力 76,000kN (2,000kN ジャッキ×38本)
軟弱粘性土の掘削	可変速カッタの採用
到達時のコンクリート掘削	機内交換可能型ビットの採用
到達時地盤改良	シールド機の内側からの施工に限定。 チューブ式止水シール・凍結管をシールド機に配備。

## (2) シールド掘進

シールド通過部の岩盤は、硬質の砂岩と粘土化しやすい頁岩の互層であり、硬質砂岩の大割れ並びに頁岩の粘土化による閉塞を防ぐために、カッタ回転速度と掘進速度を制御しながら掘進した。

## (3) 海中没水立坑へのシールド到達・接合

シールド機は到達立坑手前でリレービットを交換し、立坑充填コンクリートを切削してJ管下側の受け口まで到達する。到達完了後シールド機の一次解体施工後、到達部緩み域の地盤改良としてシールド機内から薬液注入を行った。

本工事においては、

- ①シールド到達部が海底下高水圧 (0.3MPa) である。
- ②到達部のコンクリートを3m掘進する必要がある。
- ③到達立坑は水中下であり、接合作業は立坑側からは実施できない。
- ④到達部となる海上放水口構造物に強度上の制約がある。

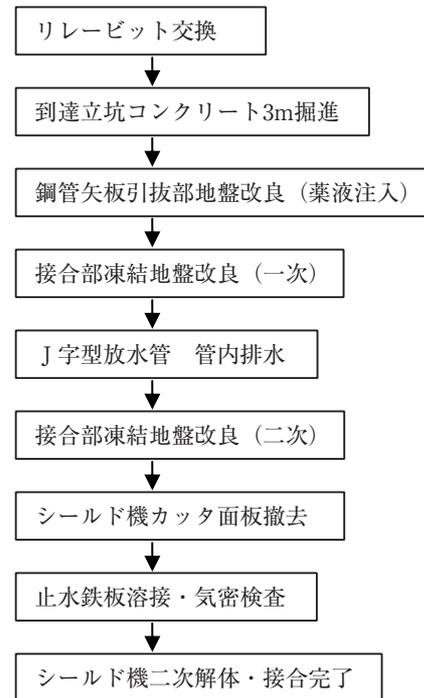
という非常に厳しい制約を受ける。特に接合作業時に土水の噴発や海水の流入があった場合、シールド機側からしか対応できず、確実に止水ができる施工法ということで、表—2のようにシールド機に機械式止水シールと凍結管を装備し、またシールド機二次解体中の熱による凍土の溶解を防ぐために、到達立坑側の受口部に、凍結管を設置しておき、排水後この凍結管を利用して二次凍結を行った。

図—4に到達・接合の施工フローを示す。

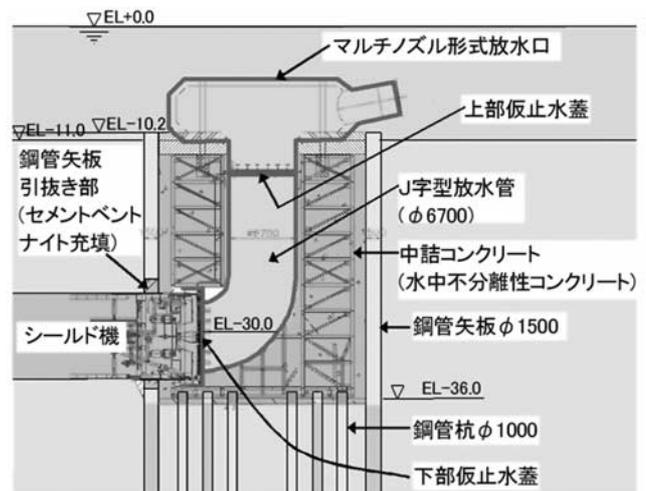
図—5, 図—6に没水立坑とシールド機の到達位置関係と地盤改良範囲を示す。

一次凍結完了後、J字管内の海水を排水し、J字型放水管側に予め埋設していた凍結管 (図—7) をはつ

り出し、シールド機側の凍結装置と接続し、二次凍結を行った (写真—7)。これは、シールド機解体時の熱により凍土が溶解しないようにするためで、凍土温度が十分低下した後でシールドマシンカッタの解体を開始した。



図—4 到達・接合施工フロー



図—5 没水立坑とシールド機到達

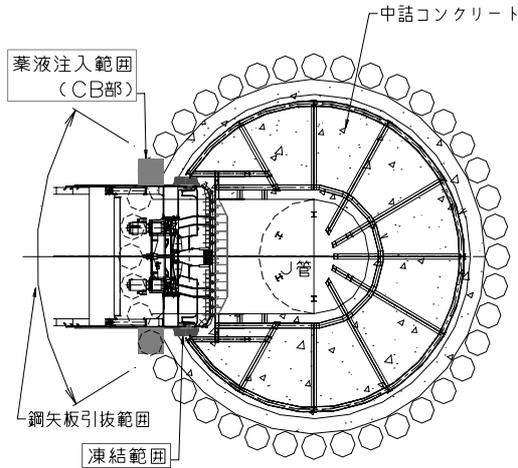


図-6 シールド到達と地盤改良

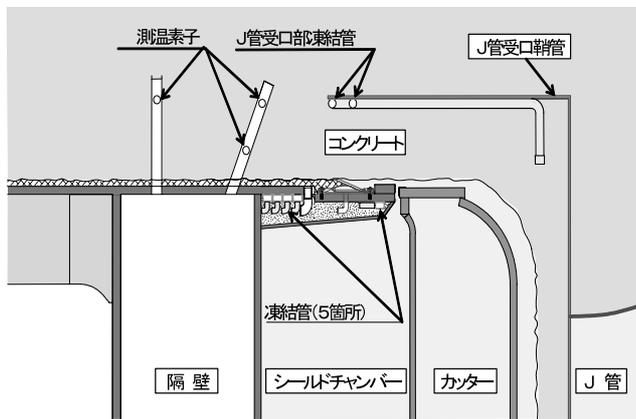


図-7 シールド機立坑埋込み凍結管



写真-7 接合部二次凍結状況

カッター解体と、受口部のコンクリートを破砕しながら、J字管受口部とシールド機フード間をリング状に鉄板を溶接（写真-8）し、気密試験を行った上でCBを注入し、接合完了した（写真-9）。



写真-8 止水鉄板取付け状況



写真-9 シールド機二次解体・接合

#### 4. 工事の現況

放水路工事はほぼ完成し、J字管上部の仮蓋撤去並びに通水準備作業中である。

JCMA

##### 《参考文献》

- 1) 新原雄二・相河清実：台湾龍門（核四）原子力発電所放水口立坑の設計・施工，土木学会誌，**88** [9]，pp.53-56（2003.9）
- 2) 松村夏樹：台湾龍門原子力発電所の海底放水口工事，電力土木，[307]，pp.134-136（2003.9）
- 3) 石丸 裕・新原雄二：大水深海底下でシールドトンネルを鋼管矢板立坑に接合，土木学会誌，**90** [9]，pp.62-65（2005.9）

##### 【筆者紹介】

石丸 裕（いしまる ゆたか）  
 (株)鹿島建設  
 機械部  
 部長

