# 34. 大深度海底下での没水型立坑とシールドとの接合

# ー台湾龍門原子力発電所放水路トンネルの施工ー

鹿島建設(株)機械部:石丸裕

#### 1. はじめに

台湾龍門(核四)原子力発電所は、台湾電力公司が 台湾の将来の電力需要増加に対応するために、台湾東 北部に出力 135 万 kW の改良型沸騰水型原子炉2基 を建設するものである。このうち、本稿で紹介する循 環冷却水放水路トンネル工事は、温排水の放水による 周辺海域環境への影響を極力小さくするために、海岸 線から沖合 700m の地点に海中放水口を構築し、陸上 立坑から海中放水口まで延長約 1.3km の放水路シー ルドトンネル2 本を建設するものである。

### 2. 計画時の問題点

当初の設計では海上に大規模な作業構台を設け、ニューマチックケーソン工法により立坑を構築して放水管を設置し、放水路トンネルとの接続はこの作業構台並びに立坑側から地盤改良(凍結)をした上でシールド機の到達接合を行う計画であったが、この工法では以下の問題があった。

- ① この海域が外洋に面し、季節風の影響で作業期間が短く、工期的に厳しい。
- ② 海上作業台並びにケーソン施工区域は、台風の通過域にあり、高波による被害が予想される。
- ③ 建設区域付近には国立公園が位置し、また周辺海域近くに海水浴場があることから、大規模な作業構台を海上に建設する工法では水域環境や景観への影響が大きく、地域住民の同意が得にくい。

### 3. 計画の変更

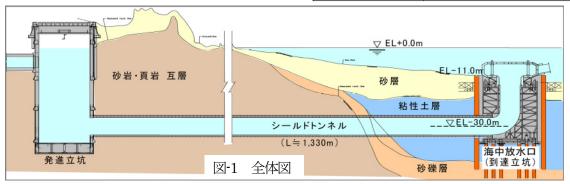
このことから計画を変更し、海上に仮設構造物を一切設けずに水中で施工する「没水型鋼管矢板井筒立坑」を採用した。これにより、放水路シールドトンネルと海上立坑との接合は、大水深下においてシールド機側からのみの施工で、没水型到達立坑と接合するという極めて特殊な施工となった。本稿では、没水型到達立坑並びにシールドトンネルと到達立坑との接合部の施工について紹介する。

### 4. 工事概要

工事は表―1工事諸元に示すようにシールド発進 立坑、陸上放水路との接続部分である連接暗渠、放水 路トンネル並びに海中放水口で構成される。

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
連接暗渠	$\Box$ -4.25m $\times$ 4.2m $\times$ 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)
海中放水口	φ20m×H26.3m 2基
(到達立坑)	鋼管矢板井筒工法(写真-1)
	J 管(写真-5)マルチノズル(写
	真-7) 各2基



# 5. 没水型立坑の施工

シールド機の到達立坑となる没水型立坑(水中放水口)は SEP (自己昇降式作業台船)並びに起重機船を使って構築した。その施工フローを示す。

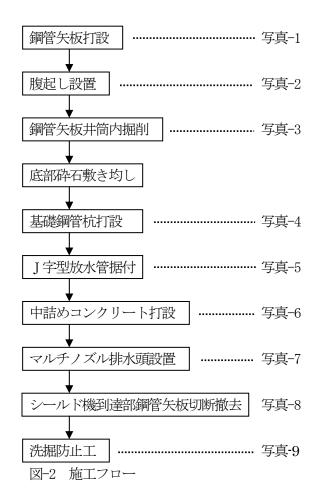




写真-1 鋼管矢板打設

SEP (自己昇降式作業台) と搭載したクローラクレーンを用いて鋼管矢板  $\phi$  1,600mm 40 本 $\times$ 2 基を円形井筒状に打設した。



写真-2 腹起し設置

起重機船を使って、円形の腹起しを打設した鋼管矢 板杭頭部に一括で据付した。



写真-3 鋼管矢板井筒内掘削

井筒内部を 7m³ グラブ浚渫船にて、水深-36m まで掘削、写真では海域汚濁防止として浮体枠形式の汚濁防止膜を使用



写真-4 基礎鋼管杭打設

井筒内部の底面に海中放水口の支持杭となる鋼管杭  $\phi$  1,000mm、30 本 $\times$ 2 基を 43mの長尺ヤットコ(水中 杭打ち補助鋼管)を使用し打設した。



写真-5 J字型放水管 (J字管) 据付 J字管 (重量約530t×2基) を1,600t 吊全旋回起重 機船により井筒内の鋼管支持杭上に一括据付した。



写真-6 中詰めコンクリート打設

井筒内部に中詰めコンクリート(水中不分離コンクリート、約 17,000m³)を連続打設。コンクリートミキサー車ごと台船輸送し、台船上のコンクリートポンプ車でトレミー管を使用して打設した。



写真-7 マルチノズル排水頭設置 放水口となるマルチノズル式排水頭(本体の直径

17.3m、放水筒  $\phi$  3.5m×4 連×2 基)を 1,600t 吊全旋回起重機船で一括据付した。



写真-8 シールド機到達部鋼管矢板切断撤去 シールド機が到達する部分にある鋼管矢板7本を 水中で切断し撤去した。(抜きながら、CB注入)



写真-9 洗掘防止工

写真は海中放水口の基礎周囲の洗掘防止用の被覆 ブロック設置状況。

# 6. シールドトンネル

#### 6. 1 シールド工法

放水路トンネルは陸上発進立坑から到達側没水型立坑まで延長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 となっており、水圧はシールド中心部で0.3MPa と高水圧であった。

地層は発進側 900m が岩盤層(砂岩、頁岩とその互層)であり、到達側は砂礫層と軟弱粘性土層からなる。

特に到達部は微細砂で、到達作業は最も気を遣わなければならない土質で、立坑との接合部は充填コンクリートを3m掘進する必要があった。こういった複雑な地質並びに高水圧に対応するために、岩盤対応型泥

水加圧式シールド工法を採用した。

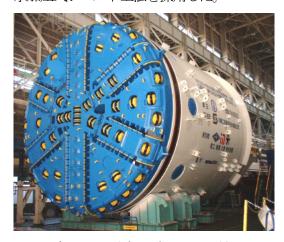


写真-10 泥水加圧式シールド機

### 6. 2 没水型立坑との接合

通常シールド機の到達は到達立坑側地上から地盤 改良し、到達作業も立坑・シールド機両側からの作業 となる場合が多い。しかし、今回の立坑は水中に没し ており、海上に地盤改良するための作業構台もないこ とから、すべてシールド機側からの作業となる。

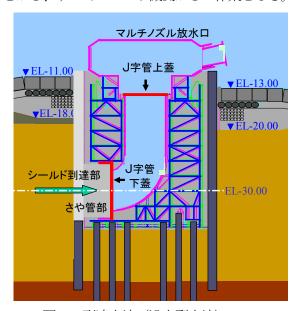


図-3 到達立坑(没水型立坑)

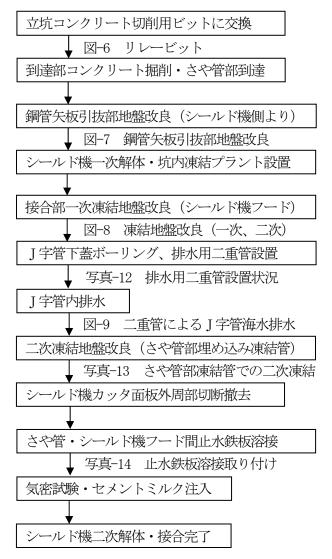
# 6.3 シールド機立坑到達部

到達立坑は図-3に示すようにマルチノズル放水口と井筒内部のJ字管からなり、外周をコンクリートで充填されている。このJ字管には上蓋と下蓋が設置されており、J字管内部は海水が満たされている。下蓋はシールド到達後に撤去するが、発電所完成後の通水開始まで、水圧は上蓋で受けるように設計されている。シールド機は図のように、中詰めコンクリートを掘

削し、さや管端部のJ字管下蓋位置まで掘進し、到達する。



写真-11 J字型放水管 (J字管) 受口(さや管部) 写真-11 はシールド到達部のさや管で、図-5 にシールド機と到達立坑 (J字管) との接合模式図を示す。 以下到達から接合までの施工フローを示す。



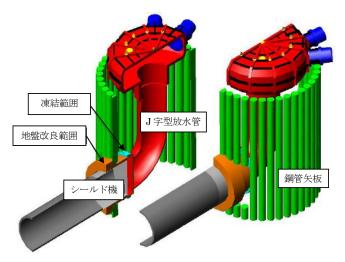


図-5 接合部模式図 (J字型放水管とシールド機)

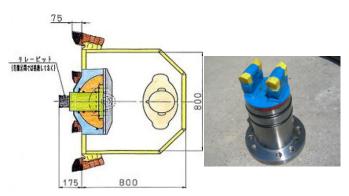


図-6 リレービット(シールドスポーク内交換) シールド機が立坑到達前に、シールド機スポークに 装備しておいたリレービットを交換後、到達掘進した。 ※リレービットとはシールド機スポーク内から地盤 改良等をせずにカッタービットを交換できる装置

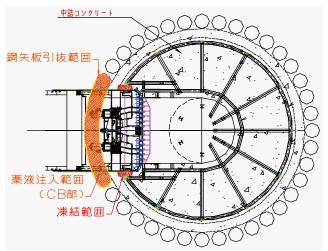


図-7 鋼管矢板引抜部地盤改良 シールド機到達後、シールド機内側から鋼管矢

板引抜部の地盤改良(CB注入)を行った。

 測温素子
 J管受口部凍結管

 (二次凍結用)
 一次凍結

 フード
 連結管(5箇所)

 (一次凍結用)
 シールドチャンパー

 カッター
 J字管

図-8 凍結地盤改良(一次、二次)

凍結地盤改良は予めシールド機フード部に設置しておいた凍結管5列を使う予定であったが、1号機では凍結管5列のうち先端の1列が損傷していたことと立坑コンクリートの残留硬化熱が予想より高かった等の原因で、凍土温度が下がりにくく、途中からブライン温度を-25℃→34℃に変更することで対応した。

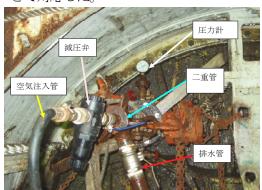


写真-12 排水用二重管設置状況

シールド機側から J 字管下蓋貫通ボーリングを行い、J字管内の海水排水用の二重管を設置した。

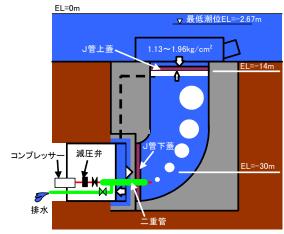


図-9 二重管による J 字管海水排水

凍土温度が-10℃まで下がった時点で二重管により、 J字管内の海水とシールドチャンバー内の泥水を排水した。二重管にした理由はJ字管内が負圧とならないように空気を送り込み圧力制御するためと、J字管内の海水を直接排水することにより、暖かい海水がシールド機チャンバー内に入り、チャンバー内泥水の温度上昇による凍土への悪影響を防止するためである。



写真-13 さや管部凍結管での二次凍結 排水完了後、さや管部埋め込み凍結管位置のシール ド機カッタ面板並びにコンクリートを撤去し、機内 ブライン管を接続してシールド機解体による熱で凍 土への悪影響を防止するための二次凍結を行った。



写真-14 止水鉄板溶接取り付け

二次凍結開始後にシールド機カッタ面板外周部並びに外周のコンクリートを撤去し、さや管とシールド機のフード間を全周、止水鉄板を溶接し、気密試験を行った上で鉄板背面にCBを注入した。この後シールド機の二次解体を行い接合完了した。

### 7. まとめ

海上に構台を設けることなく、海中放水口(没水型立坑)並びにシールド機と没水型立坑との接合を無事完成させることができた。トンネル二次覆工、水中放水口洗掘防止工も無事に完了し、今年6月、#1号機

の J 字管上蓋撤去が完了し (写真-19)、現在原子力 発電所の運用開始待ちである。



写真-15 接合完了(J字管側から撮影)



写真-16 J字管上蓋撤去完了



写真-17 完成後の海中放水口に集まる熱帯魚 《参考文献》

- 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 Vol. 88, No. 9、pp53-56、2003. 9月
   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、No. 307、pp. 134-136、2003. 9月
- 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 Vol. 90, No. 9、pp62-65、2005.9月
- 4) 石丸 裕: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、建設の施工企画 2008.8 月