

泊発電所 3 号機建設工事における放水路トンネルの施工実績

Construction Actual Result of Discharge Tunnel as part of Tomari Nuclear Power Station Unit3

北海道電力(株) 泊原子力発電所建設所 正会員 岩佐 英昭 (Iwasa Hideaki)

北海道電力(株) 泊原子力発電所建設所 ○正会員 古田 卓也 (Furuta Takuya)

1. はじめに

現在、北海道電力(株)では、2009年(平成21年)12月の営業運転開始を目指して泊発電所3号機の増設を進めている。そのうち、放水路トンネルは、海底下の岩盤部及び砂質土層部の複合地盤を泥水加圧式シールド工法(φ6,010mm)を採用して掘削しており、2006年(平成18年)2月に完了している。

本報文では、泥水加圧式シールド工法により施工した「放水路トンネル」工事の実績を報告する。

2. 工事概要

2.1 シールド工事緒元

工 法：泥水加圧式シールド工法

掘削延長：609m (岩盤部:280m 土砂部:329m)

トンネル線形：平面全線直線、縦断 -3.0%

土 被 り：8.38~38.0m(最小土被り 1.4D)

形 状：シールド機外径 6,010mm (写真-1)

セグメント内径 5,400mm

セグメント：内面平滑型(二次覆工省略型)

G T 桁高 225mm 幅 1,200mm

463 リング (一般区間)

C P 桁高 225mm 幅 1,200mm

50 リング (ケーソン荷重影響範囲:耐荷重型)

可とう 桁高 225mm 幅 700mm

1 リング (トンネルと到達立坑接合部)



写真-1 シールド機全景

2.2 地質概要

放水路トンネルが通過する地質は、次の3つに大別される。

(1) 岩盤部

坑口から 250m 付近まではB級凝灰角礫岩($\sigma_c=11 \sim 16\text{N/mm}^2$)で、最大径約 50 cmの安山岩角礫($\sigma_c=98 \sim 190\text{N/mm}^2$)を含む。250m~280m 区間は、風化が進行した褐色のC級凝灰角礫岩($\sigma_c=3.9\text{N/mm}^2$)が分布する。

(2) 地質急変部

掘進距離約 280m 地点で、岩盤から砂層に急激に変化し、岩盤面はシールド掘進方向へ約 -25%の勾配となっている。

(3) 砂質土層部

残り 320m 区間は土砂部に相当し、掘削断面下方は粘性土、上部には均等係数 $U_c=2 \sim 4$ 程度の砂質土が存在し、上下の As2 と Ag2 層に最大 30cm 程度の礫が含まれる。

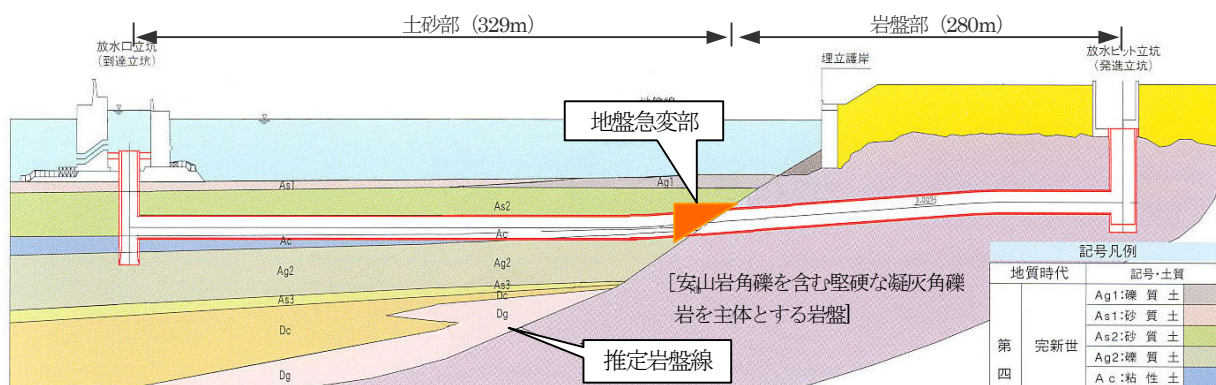


図-1 地質縦断図

記号凡例	
地質時代	記号・土質
第四紀	Ag1:礫 質土
	As1:砂 質土
	As2:砂 質土
	Ag2:礫 質土
	Ac:粘 性土
	As3:砂 質土
	Dc:粘 性土
	Ds:砂 質土
更新世	Dg:礫 質土
	Tmd:泥岩・砂岩
新第三紀	Ttb:凝灰角礫岩

3. 基本計画

3.1 シールド

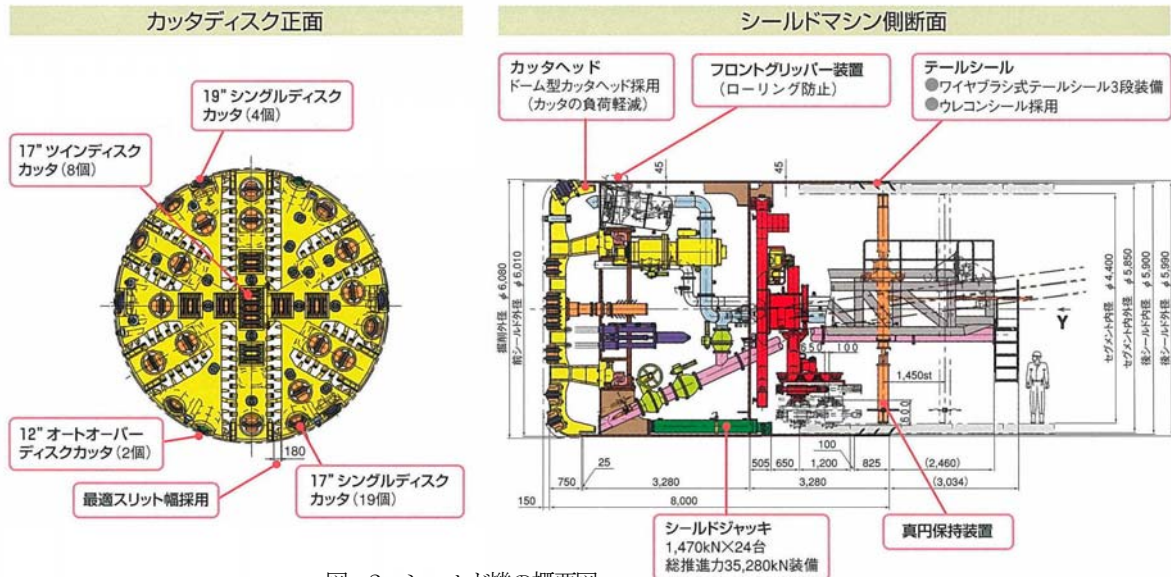


図-2 シールド機の概要図

本工事におけるシールド機に要求される性能を要約すると以下のとおりである。

①海底下に位置する複合地盤(岩盤・砂質土層)及び NOMST 壁部において安定した掘進が可能であること。

(面盤形状、カッタ配置、スリット幅、動力、姿勢制御等)

②岩盤部において泥濘化した掘削ズリ等によるカッタヘッドの閉塞等を起こさないこと。

決定したシールド機の仕様及び主な特徴を表-1 及び図-2 に示す。

表-1 シールド機の主な特徴

条 件		特 徴
複合地盤掘削	安定した掘削	地質の変化に適合した推力の装備
		岩盤と土砂に適合するカッタヘッド回転機構
		複合地盤に適合できるカッタヘッド開口
		カッタヘッドセンター部での土砂取込み性能補助機構
	岩盤の確実な掘削	シールド機本体の拘束防止
		岩盤部旋回機能と摩耗防止対策
海底下の掘削	前水口性	安山岩角礫($\sigma=190\text{N/mm}^2$)を含む岩盤を掘削する出力
		姿勢制御機構
		ローリング防止機構
		ディスクカッタ軸受部の前水口性確保

3.2 セグメント

メンテナンスフリー(耐用年数 60 年を想定)を条件として、二次覆工省略に当たっての構造細目を検討した結果、金物の重防食塗装、適切な磨耗代・腐食代の付加等の対策により、二次覆工省略、かつ、内面平滑性確保が可能と判断した。

本工事では、鋼殻と RC の合成構造で荷重等に対抗、かつ、二次覆工省略・内面平滑性確保及び高速施工に優れた WW 継手(ウォームホイール継手;セグメント間継手)及び WLP 継手(ウェッジロックピン継手;リング間継手)を有する新たに開発された GT セグメント(Gear-nut rotate-Tight Segment)を採用した。

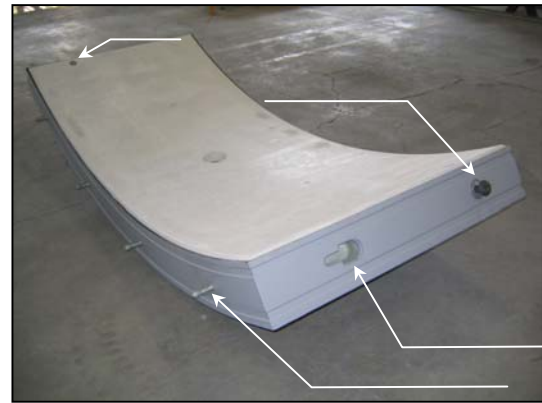


写真-2 GTセグメント概要

4. 施工実績

4.1 実績工程

実績工程を表-2 に示す。

表-2 実績工程

工 種		2005年(平成17年)						2006年(平成18年)			
		7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月
準備工	発進準備	■									
初期掘進工	岩盤部		■	■	■	■					
本掘進工	岩盤部				■	■	■				
	地盤改良部					■	■	■	■	■	■
到達掘進工	砂質土層部						■	■	■	■	■
	NOMST壁部								■	■	■

--- : 計画 ■ : 実績

1.7ヵ月短縮

4.2 掘進実績

(1) 岩盤部

岩盤部の掘削での懸念された

① 掘削ズリによるマシン胴締めや泥濘化による面盤閉塞

② 安山岩角礫を含む比較的硬質な岩盤の切削不能

に対しては、海外で希少事例を参考にしたシールド機的设计及び掘進管理の適切性により、ディスクカッタの破損があったものの全般的に大きな問題を生じることなく掘進できた。

ディスクカッタ交換時の岩盤部の切羽状況では、岩盤面は密着した堅硬な層相を示し、海面下 -20.5m 付近の湧水量は 40 ㍲/分(チャンバー内湧水量確認)であった。

なお、配管閉塞時に得られた安山岩の非破壊試験では、 $\sigma_c=150\text{N/mm}^2$ 程度の硬い強度結果が得られた。

(2) 地質急変部

放水路トンネルの地山が岩盤部から砂質土層部へ急激に変化する、いわゆる「地質急変部」においては、

①地山抵抗の急変によるシールド機の姿勢変動

②上部砂質土層の崩壊

等が懸念されたことから、事前に薬液注入により地盤改良を行った。

地盤改良は、海上に仮設構台を組立てたうえで、本施工に先立って行った標準貫入試験による地山の N 値測定結果に基づき、砂質土層自立のための「必要改良厚さ」を検討して施工を行った。

なお、施工後に実施した地盤改良箇所からのサンプリング等により注入材が対象範囲に十分に充填されていることを確認した。



写真-3 地盤改良施工状況

この地盤改良を行った地質急変部のシールド掘進実績は、以下の通りである。

- ・土砂の過剰取込み、マシン胴締め等は無く、縦断・平面線形共に岩盤部と同様の制御が行えた。
- ・岩塊をカッタ面盤前面で適正に破壊することができ、掘進に対する重大な影響は無かった。
- ・地盤改良材による泥水のゲル化及び面盤居付等の懸念があったが、分散材と水溶性潤滑剤を随時泥水に添加することにより問題解決を図った。

(3) 砂質土層部

マシンは岩盤掘削に対応して、ドーム型ヘッドとし、スリットを外周まで配置したことから、掘削断面下部に存在する強度の低い「シルト層」、粒度分布の悪い「砂層」に対して、地山の崩壊、シールド機の沈下が予想されたが、シールド総合掘進管理システムを有効に活用して問題なく掘進することができた。

推力は地質急変部と比較して、胴締め効果等の兆候が認められたが、管理値 (21,200kN : 装備推力 60%) 以下で推移した。

なお、正月休み直後の 313 リングでは、再発進直後には胴締め効果により総推力 17,000kN を示し、350 リング～450 リング間は、このような胴締め傾向が続き、最大推力 20,000 kN を示すリングも現れた。(図-3)

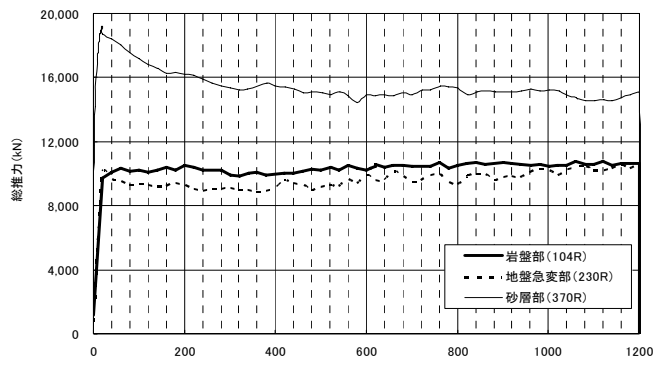


図-3 シールドジャッキ総推力比較

4.3 ディスクカッタ磨耗実績

当シールド機のディスクカッタは、設計では無交換で全区間の掘削を可能としており、掘進終了後に調査した結果、最終磨耗量は設計磨耗量と同等か、若しくは、余裕がある結果となった。

実施施工のカッタ面盤回転数は、設計の約 1.7 倍であるため (設計 : 36,743rev、実績 : 61,098rev)、全般的に余裕のあるカッタライフであった。また、偏磨耗したディスクカッタは 1 箇所のみで、ほぼ全数が均等に磨耗していた。

これは、以下のことが起因したと考えられる。

- ・材質、カッタサイズ、カッタピッチ等、ディスクカッタの設計が適正であった。
- ・泥寧化された掘削ズリが、ディスクカッタや面盤に付着することなく、ディスクカッタが正常に回転した。
- ・岩盤区間における平均貫入量を 1.0cm/rev 程度とし、ディスクカッタへ過度な負担を掛けなかった。

4.4 セグメント組立実績

(1) WW 継手締結力

組立直後に WW 継手のトルク (70Nm) 導入を行った後、さらに、後続台車後方でトルク確認を行い、全体の 6～7% に“緩み”を確認した。これらの継手に関しては全て再締結を行い、“緩み”のない覆工に仕上げた。

(2) 組立形状

内空縦横の設計値 (φ5400mm) と実測値の差 (設計値・実測値) の分布については、10mm 以内が 97% を占め (図-4)、組立完了後もほぼ真円に近い状態のセグメントを組み立てることができた。さらに、鋼殻を有する合成セグメントであったことから、トンネル内にクラックや漏水は全く無く、高品質の構造物を施工することができた。(写真-7)

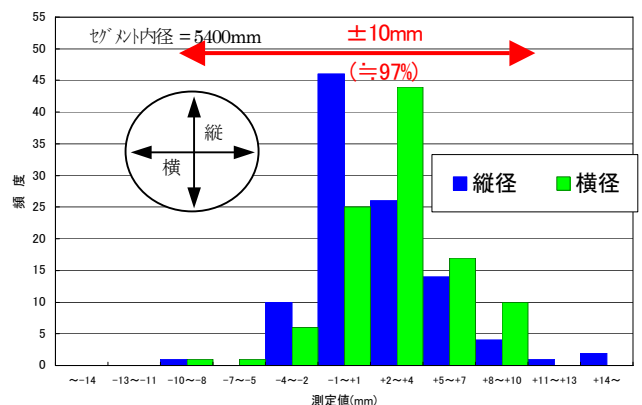


図-4 内空測定結果

4.5 厳冬期対策

厳冬期の本掘進（11月～2月）であったため、以下のような対策を実施して厳冬期を乗り切った。

- ①1～2B の細管を対象に電熱線と発砲スチロールで配管養生を実施した。
- ②流体の凍結対策
 - ・給排水系統は常時流体を動かし凍結防止を図った。
 - ・作業休止中の泥水管理は、社員1名と作業員1名が常駐し、1回/時間のバイパス運転を実施した。
- ③泥水処理設備ヤード、発進立坑ヤードの2箇所防雪棟を築造し、ブライツヒータ等の暖房設備を設け防寒養生を行った。



写真-4 冬季の作業状況

4.6 トラブル実績

(1) ディスクカッタの破損

84 リングの岩盤掘進中にクラッシャー内にディスクカッタの破片や部品が発見されたため、点検を行ったうえで2個のカッタ交換を実施した。原因の1つとして岩掘削時に発生するディスクカッタの発熱と、泥水による冷却の繰り返しに伴いディスクカッタ本体にクラックが発生し破損したと想定している。



写真-5 ディスクカッタ破損状況

(2) 磨耗による配管の損傷

岩盤区間においては、排出される岩ズリが鋭利な様相を呈しているものが多かったこともあり、100リングの掘進あたりから排泥管の様々な場所で孔が開き始めた。そのため、190リングの掘進前に排泥ルート上の曲管や付近の配管を一斉に交換・補修を行った。

また、同様の発生要因により228リングの施工中に伸縮管台車の排泥側エルスターホース（納入時新品）が破損するトラブルも発生した。（写真-6）

(3) 配管閉塞

初期掘進時は狭隘な立坑部に設備を配置したことから曲管等

の使用が多くなり、その曲管部で適度な大きさの礫が集中して閉塞が発生した。また、地盤急変部を抜ける瞬間やNOMST壁を抜ける瞬間のように、堅硬な地盤から柔軟な地盤に移行する際には巨礫の閉塞が発生した。

これらについては、閉塞の都度、閉塞物の撤去により対処した。



写真-6 エルスターホース破損状況

5. おわりに

本工事については、大口径シールド機による海底下の複合地盤掘進は国内初の施工事例であったが、2006年（平成18年）2月17日に50日程度の掘進工程を短縮し、609(514リング)mの掘進を無事に終了した。

最後に、本稿の取りまとめに当たって、ご指導・ご協力いただいた関係各位に心から謝意を表します。



写真-7 トンネル坑内全景

参 考 文 献

- 1) 古田卓也；奥寺健彦；西嶋 徹. 泊発電所3号機建設工事における放水路トンネルの設計. 電力土木学会誌 2006No.323.
- 2) 岩佐英昭；奥寺健彦；小野田一也. 泊発電所3号機増設工事に伴うシールドトンネル. 土木学会誌 vol.90 no.11, 2005, pp.58～61.
- 3) 古田卓也；鈴木義信；稲葉洋介. GTセグメントの施工実績. 土木学会第61回年次学術講演会 概要集VI, 2006.9.
- 4) 財先端建設技術センター編. 内水圧が作用するトンネル覆工構造設計の手引き. 1999.
- 5) 土木学会編. トンネル標準方書(シールド工法編)・同解説. 1996.
- 6) 建設省土木研究所地震防災部耐震研究室編. 大規模地下構造物の耐震設計法・ガイドライン(案). 土木研究所資料 3119号, 1992.