

堅型シールドTBMによる大深度堅坑の施工 —倉敷国家石油ガス備蓄基地—

清水建設株式会社 正会員 ○関伸司 矢野一郎 北本廣平 西丸知範 大木智明

1. はじめに

本工事は、倉敷国家石油ガス備蓄基地建設工事のうち、給水堅坑（内径 $\phi 4.0\text{m}$ 、計画深さ170m）を構築する工事であり、操業時に水封トンネルへの水封水供給配管および水封トンネルからの各種計測用ケーブルを施設するための堅坑である。本堅坑の施工方法は、施工中の湧水量を最小限に抑制すること、火薬類の運搬・使用が制限されたことから、密閉型シールドにグリッパーを装備したシールドTBM工法を採用した。本報告では、シールドTBMの計画と掘削土砂の地上への排出機構について報告する。

2. 工法概要

給水堅坑の概要図を図-1に示す。掘削対象地盤は、発進立坑（アーバンリング工法：深さ38m）の下端から、底盤コンクリートと置換コンクリート（9m）、泥岩・砂岩層（19m）、風化花崗岩（22m）、花崗岩（90m）の合計141mである。花崗岩の一軸圧縮強度（ q_u ）は、100MPaから最大160MPaであり、地下水圧は、最大17MPa作用する。シールドTBMは、図-2に示すとおり、シールド機に装備したメイングリッパー、フロントグリッパーおよびスライドジャッキを装備した泥水式シールド機であり、設計水圧は掘進時1.2MPa（静止時は2.0MPa）とした。また、掘削土砂の地上への搬出は、切羽から地上まで流体輸送設備で連続的に行った。

3. 設備の計画

(1) シールドTBMの計画概要

シールドTBMの掘削外径は $\phi 4,760\text{mm}$ 、機長は12.97mであるが、後続設備用の作業ステージ（13段）を含めると全長は約43mになる。

国内最大級の高水圧が作用することから、テールブラシを4段装備し、後段から3段目と4段目に緊急止水装置を設置した。装備推力は36,000kN（3,000kNジャッキ12本）とし、カッタのトルク値は1,470kN・m（ $\alpha=14$ ）の電動駆動とした。シールドTBMの特徴を以下に示す。

①掘削機構

- ・17インチのローラカッタ（超高水圧対応型）14個およびセンターカッタを2個装備した（図-3、写真-1）。
- ・カッタの回転速度は、花崗岩の掘削を考慮して、45m/minの高速回転（0.2～3.0min⁻¹：インバータ制御）とした。
- ・4箇所のスクレーパで掘削土砂を中心部にかき寄せ、掘削された土砂をチャンバー内に取り込まずに、面板の前方に設置した排土口から排出する。
- ・ローラカッタ交換時に自重を保持するため、グリッパー（メイン、フロント各4台）を装備した。

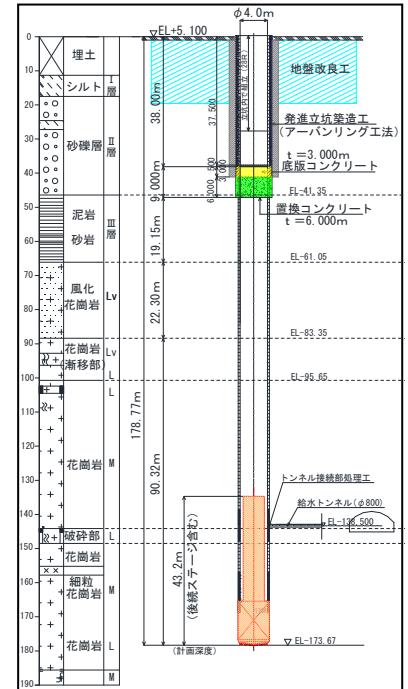


図-1 給水堅坑概要図

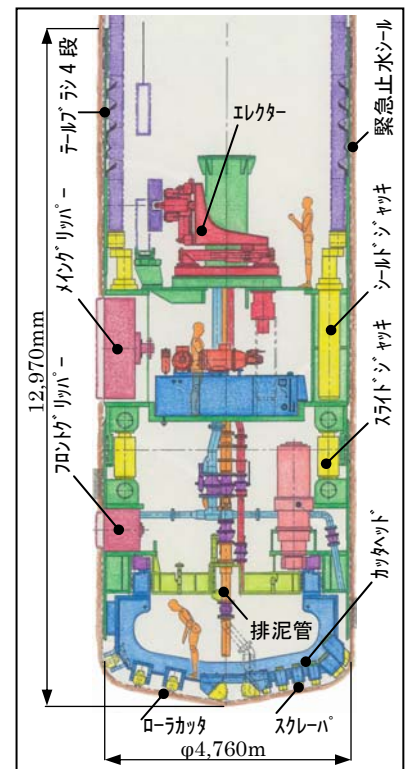


図-2 シールドTBM概要図

キーワード シールド, TBM, 大深度, 岩盤掘削, 花崗岩, 高水圧

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋2-16-1 清水建設(株)土木技術本部 TEL 03-3561-3892

②方向制御技術

- ・岩盤掘進時に、シールド機の振動を抑制して計画線通りの線形を確保するため、グリッパーを装備した。
- ・方向制御のため、中折れ装置（スライドジャッキ）を装備した。

(2) 流体輸送設備の計画概要

地上から切羽に泥水を供給する場合、掘削深度に比例した水圧が作用することから、120m 以深では設計水圧の 1.2MPa を超えることになる。したがって、120m 以深の掘削を可能にするために、要素実験で実現性を検証した後に、図-4 に示す新しい流体輸送機構を開発し適用した。この流体輸送機構の特徴は、①シールドTBM機の後方に泥水タンクを設置し、一次排泥ラインは切羽から泥水タンクまでの閉ループ構造とした。また、泥水タンクの中には、P0 ポンプを設置して切羽側に向けて送泥し、カッターヘッドの外側の 2 箇所を送泥口から切羽面に送られ、外周側から中央に向かう泥水の流れを作った。

②二次排泥ラインは、地上から泥水タンクを経由して地上まで排泥するサイフォン方式を採用した。掘削土砂の受け渡しは、掘削ズリ供給装置（プランジャー方式の 2 系統）により行い、圧力差が生じている泥水タンクと二次排泥ライン間は、バルブの開閉により圧力を遮断する構造である。

③泥水圧力の急激な上昇が生じた場合、各種機器の耐水圧性能を保護するために、緊急時圧抜き管（破裂弁）を設置し、二次排泥ラインの掘削土砂の閉塞を防止するために、非常停止時開放タンクを装備した。

4. 施工結果

(1) 掘進時のモニタリング

- ・シールドTBMの掘進に伴い、貯槽本体周辺の水圧場への影響の有無を確認するため、堅坑周辺の各深度における間隙水圧の計測を実施し、影響がないことを確認しながら掘進した。

(2) シールドTBMの発進

- ・シールドTBMは、工場で製作完了した後に海上輸送され、2,050t の起重機船により、海上から直接立坑（アーバンリング内径 $\phi 5.0\text{m}$ ）に投入した。
- ・立坑内でセグメントを 28 リング（幅 1.0m）組み立て、立坑とセグメント背面隙間をモルタルで充填して、推進反力を確保した後に掘進を開始した。

(3) 地上設備

- ・セグメント等の資機材の投入のため、堅坑廻りに写真-2 に示す櫓を設置し、吊り荷重 2.4t の揚重設備（ウインチ：巻き上げ速度 50m/min）を使用した。

(4) 掘進実績（掘進延長約 141m）

掘進速度は、10mm/min で計画したが実際は 5mm/min であった。また、稼働日当たりの平均月進量は、15m から 20m の範囲であり、シールド機テール部の止水対策や流体輸送設備の各種バルブの摩耗対策等、機器のメンテナンスに多くの時間を要した。

5. おわりに

本工事は、国内で初めて掘削深度 50m を超える堅型シールドTBMの工事であり、掘進途中での段取り替えやメンテナンス等の課題が明らかになった。今後は、大深度化する堅坑工事への適用に向けて技術的な改良を行いたい。

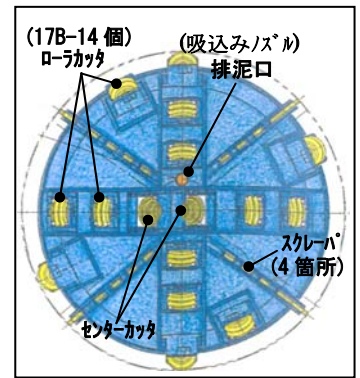


図-3 カッターヘッド正面図

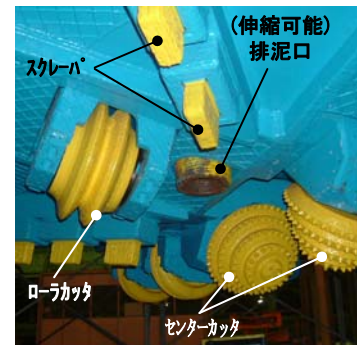


写真-1 カッターヘッド中央部

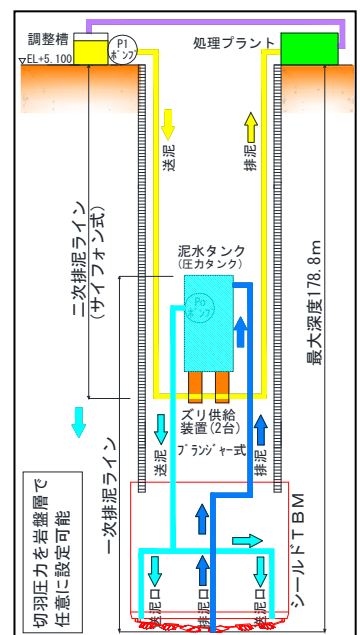


図-4 流体輸送概要図



写真-2 堅坑上部の櫓