

24. 泥水式斜坑推進工法で施工した大深度換気立坑の施工機械設備

横浜市 下水道局：黒川 満、清水建設(株)：*飯泉 勝、
久原 高志

1. はじめに

近年、推進工事における施工技術は急速に発展し、延長1,000mを超える超長距離、曲線半径10m以下の急曲線施工や急勾配施工などが報告されている。今回報告する推進工事施工事例は急勾配というよりは立坑と表現した方がふさわしいほどの特殊な斜坑推進工事である。

建設工事場所は横浜市保土ヶ谷区の国道1号線直下。地下87mの深さに、地域の浸水被害防止、軽減を目的として、内径10.8m、延長2,000mのシールドトンネル式地下調節池（今井川地下調節池）が建設され、平成13年度より暫定供用されている。今回の特殊な推進工事は、この供用中である地下調節池の換気用立坑として、国道に隣接する高台の公園敷地内地表面から伏せ角度75.6度で呼び径2,000mmの泥水式推進工事を実施し、供用中の地下調節池シールドトンネル頂点に接続するものである。（図-1 地下調節池施設概略図、

図-2 換気孔断面および土質縦断図参照）

接続部での地下水圧は0.66MPaにもおよび、通常の推進では考えられない大きな水圧や、大きな浮力が作用するため、機械設備には数多くの対策を必要とした。

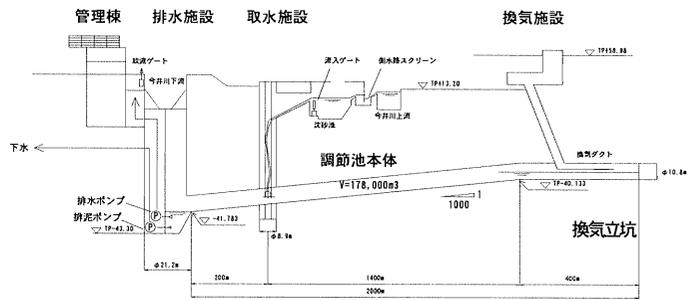


図-1 地下調節池施設概略図

2. 工事概要

工事内容は下記のとおり

- ・ 工事件名： 今井川地下調節池建設工事（その10）
- ・ 企業者： 横浜市下水道局
- ・ 施工者： 清水建設株式会社
- ・ 工期： 平成13年12月27日～平成15年3月31日

工事内容

①泥水式推進工法

- ・ 管種： 呼び径2,000mm ダクタイル推進管
- ・ 延長： 87.7m
- ・ 勾配： -389%（伏せ角度75.6度）
- ・ 土質 盛土、ローム、洪積粘土、砂礫、細砂、固結シルト

②推進仮設備工

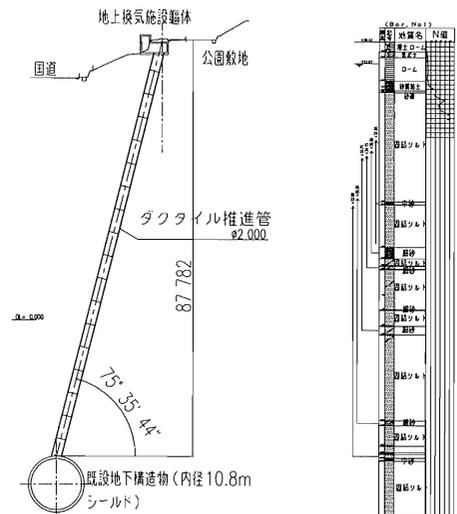


図-2 換気孔断面および土質縦断図

- ・反力構台
- ・斜坑エレベータ
- ・管固定用浮上り防止装置

③地盤改良工

- ・到達防護薬液注入（地下調節池シールド内部から）

④調節池内支保工

- ・到達部シールドセグメント変形防止用支保工

⑤換気施設躯体工

⑥付帯工

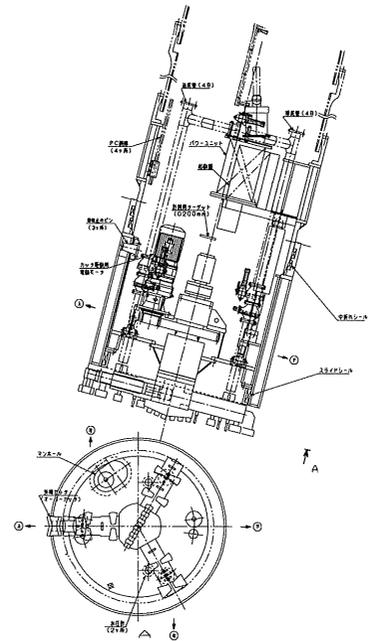


図-3 泥水式掘進機

3. 土質概要

推進工事を施工する箇所の土質は、第三紀鮮新世～第四紀前期の更新世に堆積した上総層群（固結シルトおよび細砂）を基盤とし、上位に相模層群（層厚さ：砂礫0.5～1.0m、粘性土2.0m）、ローム（層厚さ4.0m～5.0m）、黒ボク（層厚さ1.5m）が堆積している。

上総層群は固結シルトを主体とし、厚さ1cm～2.4mの砂層を挟在する。

この挟在砂層は全体的に若干の傾斜を有し、ちょうどシールドとの接続箇所では厚さ50cm程度となっている。

上総層は硬質(N値>50)であり、一軸圧縮強度で2.7N/mm²を有している。挟在している砂層は細砂を主体とし、粒径は均一で、良く締まっている。砂層の透水係数は1.1×10⁻³～9.6×10⁻³cm/secを示し、到達部での間隙水圧は0.66MPaである。

表-1 掘進機仕様

4. 推進用設備

4. 1 泥水式掘進機

泥水式掘進機は下記の対策を考慮した仕様で製作した。（図-3 泥水式掘進機、表-1 掘進機仕様参照）

①高水圧対策

- ・全てのシール類の止水性能は 1MPa（水深100m 相当）仕様。

②固結シルト層における掘削性の向上

- ・先行ビット配置による切削性の向上。
- ・カッタスポーク背面に攪拌翼を設けチャンバ内固結を防止。
- ・フィッシュテールビットの配置で、カッタ中心部の切削性向上。

③斜坑推進精度の確保

- ・方向修正方法として全方向最大中折れ角 1.0 度の中折れ機構（球面中折れ）
- ・最大余掘り量 50mm の伸縮式オーバーカッタを1基装備。

項目	仕様
外径 × 全長	φ2209 × 3880 mm
方向制御ジャッキ	700KN × 500mm × 6本
カッタトルク	(最大) 60.6 kN-m
カッタ回転数	3.5 min ⁻¹
オーバカッタジャッキ	79.4 kN×225mm×1本

④到達部地下調節池との接続部の防護

・スライドフード（外筒）機構による到達部地山開放域の縮減。

・到達部で掘進機周辺に薬液注入できる構造。

⑤解体作業の簡素化

・主要解体品は全てボルト接合。

・カッタ駆動部を2分割のボルト接合（大ブロックにて解体引き上げ可能）。

4. 2 推進仮設備

斜坑推進という特殊性を考慮して各設備機械の設計製作を行った。地上の仮設備全体を図-4と写真-1に示す。下記に各設備について特色を述べる。

① 元押しジャッキおよび反力構台

・元押しジャッキ横行スライド（推進管の投入・据付や斜坑内の揚重作業が容易）

・発進レールの設置（推進管投入接続作業時のガイド）

・長さ 2.8m のストラット使用（推進管長さ 5.0m に対し、元押しジャッキ最大ストローク 3.0m）

・元押しジャッキの能力 2,000kN/本×4 本=8,000kN（計算最大推力値から）

・グラウンドアンカーによる反力確保（アンカー引抜き力は元押しジャッキと同じ）

②管固定用浮き上がり防止装置

・元押しジャッキの圧力解除・推進管接続時の地下水による浮力による浮き上がり防止（パワーケーシングジャッキ：引抜き力 3,600kN）

・グラウンドアンカーによる反力確保（アンカー引抜き力はパワーケーシングジャッキ能力と同じ）

③斜坑エレベータ

・斜坑内での作業（ダクトイル推進管継手内面の止水処理や送排泥管、掘進機、排泥ポンプ等の電源および操作線の接続作業）足場および斜坑内点検等のための昇降設備。

・エレベータ構台頂部が前後にスライド可能（推進管の投入・据付け時の支障となるため）。また上端部エレベータガイドレールは上下にスライド可能。

・エレベータ駆動方式はワイヤロープ式（推進管の継ぎ目

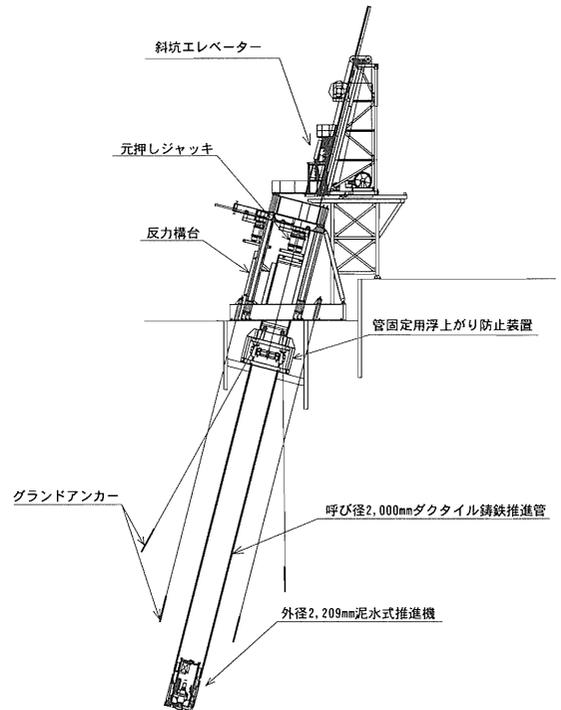


図-4 仮設備全景

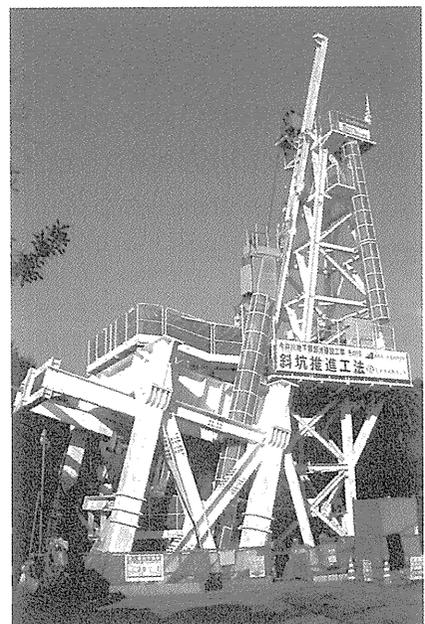


写真-1 地上仮設備全景

における目開き等によるガイドレールの微妙なズレへの対応)

④測量機器

・地上の構台上から計画トンネル軸線をレーザ光線により掘進機に取付けたターゲット板まで照射し、そのターゲット板を CCD カメラで撮影し、運転操作室で監視。

・自動追尾ノンプリズム式光波距離計内蔵のレーザセオドライドを使用（地上に設置した基準点 (X, Y, Z 座標) を 3 点視準することにより、自器の座標を自動計算するプログラム内蔵)

これらの仮設備は、製作工場にて仮組み、試運転調整後、現場への納入・組立を行った。試運転調整においては、実際に工事で使用する推進管を仮設備の製作工場に持ち込み、推進管の投入・接合作業を行って、現場で使用する際に起こりうる不具合を未然に防止した。

5. 推力の算定

設備計画に必要な斜坑推進の推力算定は下記の計算により求めた。

$$F = Fw + Fm - Wg - Wh$$

F : 総推力

Fw : 浮力

Fm : 推進抵抗力

$$Fm = F_0 + f_0 \times L$$

(F_0 : 先端抵抗力、 f_0 : 周面抵抗力、 L : 推進延長)

Wg : 推進用掘進機重量

Wh : 推進管重量

総推力 $F \approx 6,500\text{kN}$ となり、計算結果から、装備する推進用ジャッキは $2,000\text{kN} \times 4$ 本とした。また、推進開始から 30m 程度までは掘進機と推進管の重量合計の方が浮力よりも大きく、自重で掘進機が地山に食い込んでしまうため、掘進機を吊り下げながら掘進することとした。



写真-2 推進管投入状況

6. 推進工

6. 1 施工サイクル

斜坑推進工事の施工サイクル概要を下記に示す。

- ①推進管投入 (写真-2 推進管投入状況参照) : 既設の推進用泥水配管および配線類の切り離し→クレーンを使用し、ダクタイル推進管投入→反力構台の発進レールに沿って管の設置
- ②推進管接続 : エレベータ構台が前進・移動→エレベータガイドレール下降および接続→エレベータ下降および管内部接続作業 (同時に管外部接続作業) →エレベータおよびエレベータガイドレール上昇
- ③一段目掘進 : 泥水配管、配線類接続→エレベータ構台後退および元押しジャッキ横移動設置→管固定装置を解除→元押しジャッキ伸びにより掘進 (ストローク 3,000mm)

- ④ストラット設置：管固定装置を作動し管を固定→元押しジャッキ縮およびジャッキ横移動→ストラット投入・設置
- ⑤二段目掘進：元押しジャッキ横移動設置→管固定装置を解除→元押しジャッキ伸びにより掘進（ストローク2,000mm、合計5,000mm）
- ⑥ストラット撤去：管固定装置を作動→元押しジャッキ縮および横移動→クレーンにてストラット撤去
- ⑦掘進（1本）完了

6. 2 施工実績

浮力よりも重量が優る区間では掘進機は重量により地盤に食い込まないように吊っておく必要がある。この区間では平均掘進速度約10mm/分で施工した。また、掘進機を吊るのはPC鋼棒で計画していたが、実施工においてPC鋼棒の盛替えや、緊張力の調整が複雑であるため、管固定装置のパワーケーシングジャッキの上下伸縮による掘進速度調整に切り替えた。その結果、継手のガタによる伸びにより先端掘進機は垂れる傾向を強く示した。対策として掘進機中折れ装置を作用させ前胴を持ち上げるようにして姿勢を維持するようになった。

掘進の深度につれて浮力が大きくなり、元押しジャッキを必要とし始めたのは深さ25mからであった。

計画掘進速度20mm/分、計画日進量1本(5.0m)/1日に対し、実績は前半平均15mm/分、後半平均10mm/分で、2本(10.0m)/3日の施工ペースであった。姿勢制御については推進管先端に作用する浮力により先端が持ち上がるとうする傾向を強く示し、対策として掘進機中折れ装置を作用させ前胴を下に折るようにして姿勢を維持するようになった。(図-5

推進管蛇行量グラフ参照)

推力は大きくばらつき1,500~3,800kNを示した。掘進時の切羽泥水圧力や推進速度の変化に加え、方向修正による周面抵抗に敏感に反応したものと考えられる。推力の

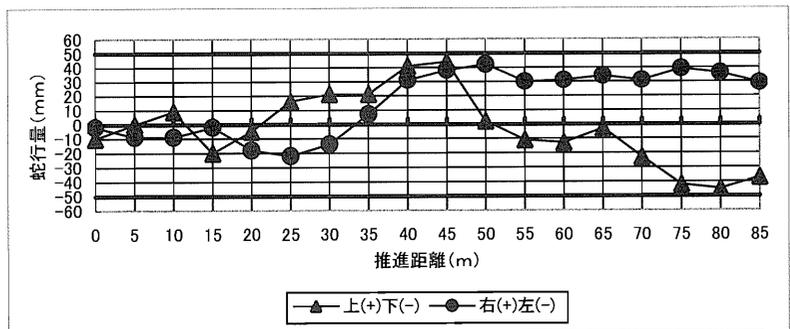


図-5 推進管蛇行量グラフ

実績を図-6 推力推移グラフに示す。

また到達時の精度は X 方向+29mm、Y 方向37mm で掘進途中の蛇行量も通常の推進工事の管理値(±50mm)以内であった。

7. 掘進機内部解体・引上げ

到達部の地下調節池シールド坑内での作業は資機材の投入搬出口

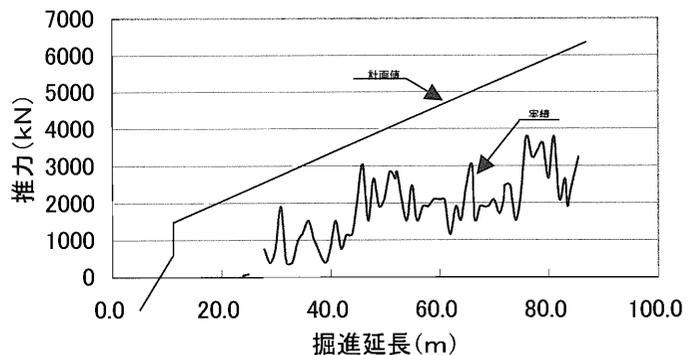


図-6 推力推移グラフ

が他の工事（地下調節池排水施設工事）との競合になっているため、大幅に制限されていた。そのため掘進機の解体された部材は、全て斜坑を通じて地上に引上げを行うこととなった。また作業員が内径2.0mの推進管内部を87m下り、人力で解体し、部品を地上に引上げるのは非常に危険であると判断し、事前の計画段階で機械内部部品を一括して引上げることとしていたが、この方法により安全性が確保されたのと同時に大幅な工期短縮が可能となった。引上げ作業は2日間（昼間のみ）で完了した。（写真-3 掘進機内部解体・引上げ状況参照）

8. おわりに

今回、通常は横方向に掘進する推進工法で縦方向の掘進を高精度で施工することができた。推進管の重量や浮力といった要素が大きく係わってくるために、推進反力の算定時には圧入ケーソンの沈下関係図を応用してみたが、種々の荷重の関係を整理して考えるのには有効な方法であったと思える。

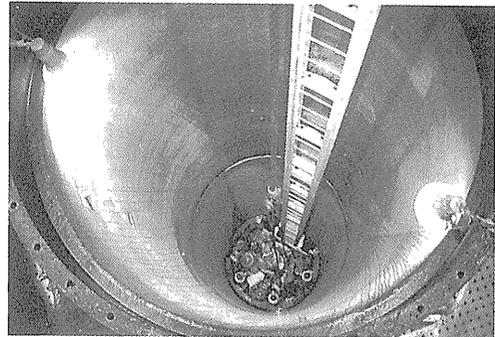


写真-3 掘進機内部解体・引き上げ状況

施工においては、測量、墨出しから、資材投入・設置まで全てのものを斜め75.6度で施工したため非常に気を遣う工事ではあったが、極めて高精度で地下87mの既設シールドに到達することができた。

最後に、推進工法で斜めや縦方向のトンネルも施工可能であるという認識が広まることで、大深度地下へのアプローチや換気立坑、ライフラインへの接続用立坑等、今後の本工法の需要を期待したい。また、本報告が今後の類似工事に携わる方々の参考になれば幸いである。

参考文献

「高水圧下における斜坑泥水推進工法による施工」－今井川地下調節池建設工事（その10）－扇原 博他 建設の機械化 2003年2月