

合理的な立坑構築工法による 円形立坑の急速施工結果報告

REPORT ON THE RESULTS OF HIGH SPEED DRILLING OF A ROUND VERTICAL SHAFT USING A RATIONAL VERTICAL SHAFT CONSTRUCTION METHOD

岡田 泰一^{*}・星野 高廣^{*}・吉野 章^{**}・一関 文孝^{**}・田中 猛^{**}

Taiichi OKADA, Takahiro HOSHINO, Akira YOSHINO, Fumitaka ICHINOSEKI and Takeru TANAKA

This report describes the drilling of a deep vertical shaft in a short period of time while preserving the environment and maintaining safety at a narrow site nearby residential dwelling.

The method of drilling, newly developed, integrates use of a reverse-circulation-drill for vertical shaft excavation, round steel supports for earth retention, and caisson using pressurizing.

Keywords: foundation method, deep vertical shaft, reverse-circulation-drill, caisson method

1. まえがき

近年、都市部の地下利用はいっそうの大深度化が進み、地下鉄、各種ライフライン向けのシールドトンネルや各種地下構造物の建設にともなう、大深度立坑の構築が、都市土木工事において重要な位置を占めてきている。また、大型構造物基礎としての堅牢な大深度立坑の需要もますます高まってきている。これらの立坑の施工は多くの場合、建物の密集地、道路上あるいは路下などで行われ、こうした厳しい現場環境のもとで高品質の立坑を構築するための合理的な施工方法が求められている。

本報告は、都営地下鉄12号線東中野第一工区における東中野ポンプ所の立坑工事に関するもので、本工事では立坑の施工法にリバースサーキュレーションドリル工法と、圧入ケーソン工法を組み合わせた新しい立坑構築工法を採用している。本報告では工法の概要と施工結果について報告する。

2. 工事概要

2・1 工事概要

東中野ポンプ所は、地下鉄シールドトンネルの東中野駅～中野坂上駅間の排水を集めて圧送排水するための施設であり、深度約50m、外径5.05mの立坑を設けて、シールド通過後、ポンプ所より横坑掘削し

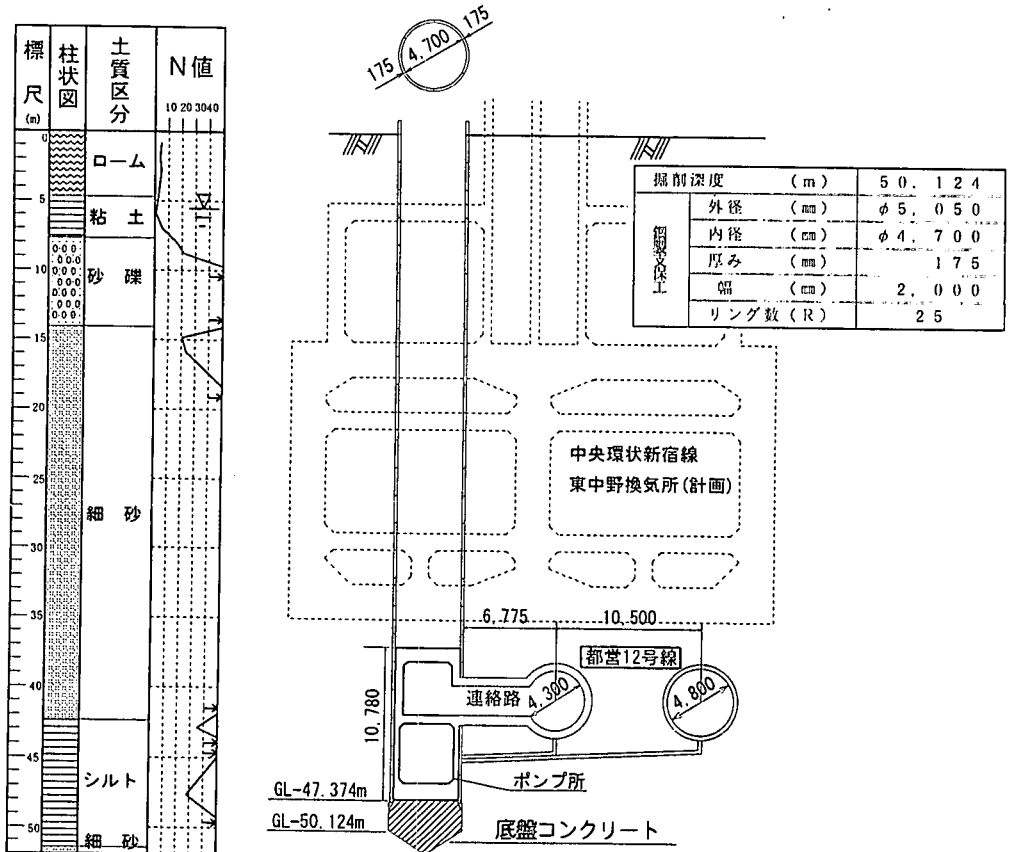
* 東京都交通局豊島建設事務所

** 正会員 ハザマ・戸田・竹中土木・勝村・松尾建設共同企業体

てシールドトンネルとポンプ所を連絡する計画である。

本立坑は、当初、全面地盤改良による深礎工法で計画されていたが、近隣住民に対する騒音、振動、地盤変状などの影響や、掘削作業時の立坑内での作業の安全性と止水性、工期短縮の要請に応えられないなどの問題があった。そのため、低振動・低騒音工法であるリバース掘削工法を採用するとともに、支保工を地上で組み立てて順次圧入沈設させていく圧入ケーソン工法を採用して、近隣に与える影響の抑制、作業員の危険・劣悪な作業環境からの解放、止水性の向上を図り、課題解消に取り組んだ。

図－１に工事主要諸元、ポンプ所断面図および地質概要を示す。



図－１ 工事主要諸元、ポンプ所断面図および地質概要

2・2 施工方法

本現場で採用した工法の基本的な施工の流れはケーソン工法と同様である。ただし、ポンプ所構造物の上部は次工程で撤去する必要があるため、立坑躯体に撤去容易な鋼製支保工を使用することとした。事前の沈下検討において、RC造の躯体を沈設させるのに比較して自重が軽く、沈下力が不足するという結果を得たため、グラウンドアンカーを反力とするジャッキ圧入を行うことにより不足沈下力を補うこととした。

施工の手順は以下のとおりである。

まず、最初に圧入反力に用いるグラウンドアンカーを施工する。続いて、刃口をセット後、クラムセル掘削機を用いて地下水位まで初期掘削およびジャッキ圧入を行う。リバース掘削機の組立投入、ヤグラの組立、配管などの段取り替えののち、リバース掘削、圧入沈設、圧入設備リフトアップ、鋼製支保工組立の手順を繰り返し行い、所定の深度まで沈設する。掘削機などの撤去後、底盤コンクリートを打設して立坑が構築される。

リバース掘削圧入による施工サイクルを図-2に示す。図-2に示すように、ヤグラ方式を採用することにより、繰り返し作業となる掘削、圧入沈設、鋼製支保工組立を連続的に作業することができ、しかも、圧入桁およびジャッキ、掘削装置などを一度に吊り上げ、架け出し時の仮置きスペースを省くことができるため、工期の短縮と狭い作業ヤードでの施工が可能となる。

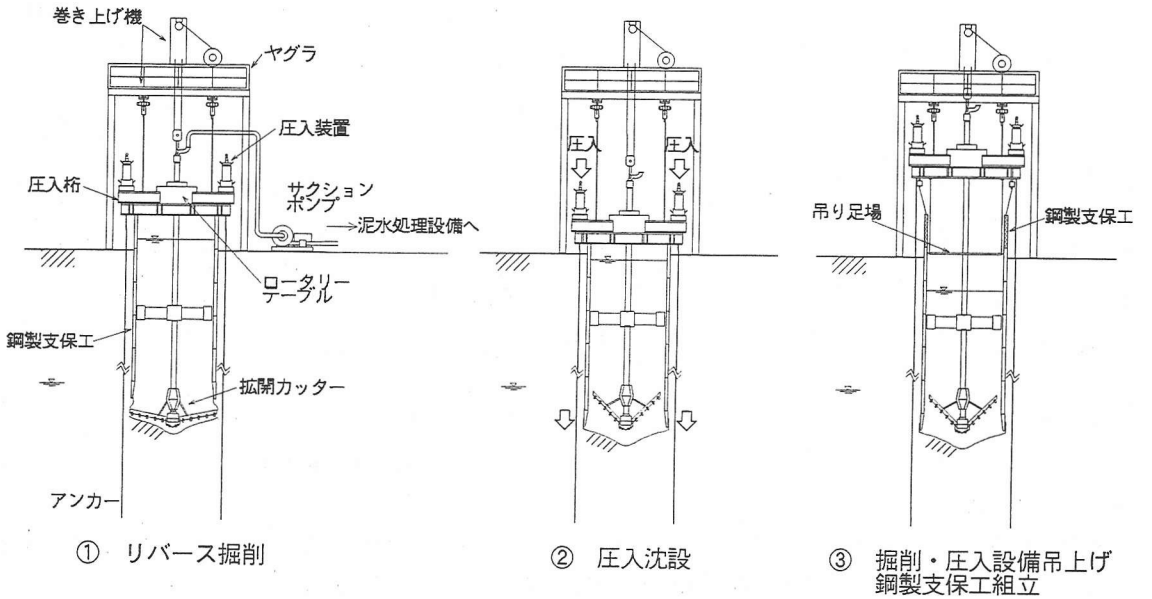


図-2 リバース掘削圧入による施工サイクル

2・3 機械および施工ヤード

施工システム全景を写真-1に、掘削に使用した拡開カッターを写真-2に、主要機械の諸元を表-1に、施工ヤードの概略図を図-3に示す。

拡開カッターは、沈下力の低減、機械の投入撤去の利便性を考慮して新たに開発したもので、ここではφ2.3～5.15m径径の仕様で製作した。他の掘削装置類は既存の大型リバース掘削機用の機器をそのまま使用できる。また、機構が簡単なリバース掘削方式を採用したことにより、作業スペースの低減が図れ、図-3に示した作業エリア(約400m²)とプラントヤード(別途、約340m²)で施工を実施した。

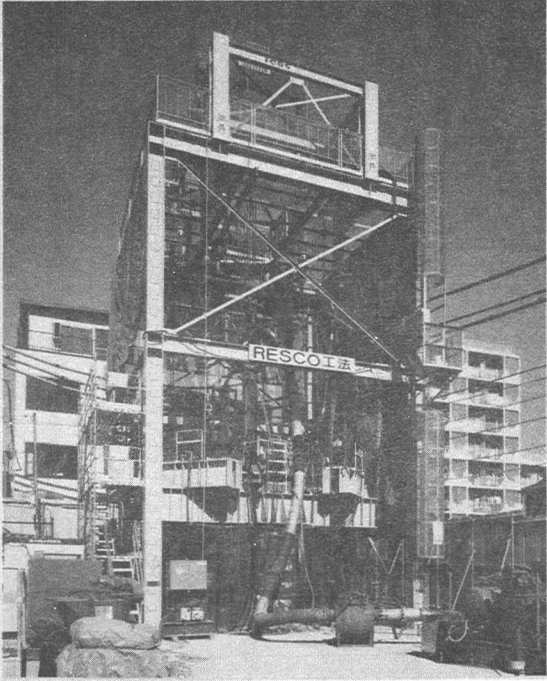


写真-1 施工システム全景

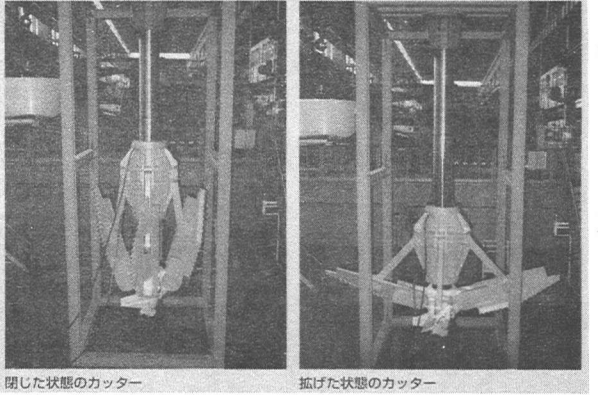


写真-2 新開発の拡開カッター

表 - 1 主要機械の諸元

項 目	単 位	仕 様
掘削装置	カッタートルク	tf・m 0～17
	カッター回転数	r.p.m. 0～12
	掘削径	m 2.3～5.15
	主ウインチ吊り能力	tf 45
泥水処理設備	排泥能力	m ³ /分 12
	泥水処理能力	m ³ /分 12
	排泥管径	mm 250
	タンク容量	m ³ 210
圧 装 入 置	ジャッキ圧入力	tf 250×8台
	ストローク	mm 250
巻き上げ機	リフトアップ装置用電動チェーンブロック	tf 20×4台
	支保工組立用電動チェーンブロック	tf 0.98

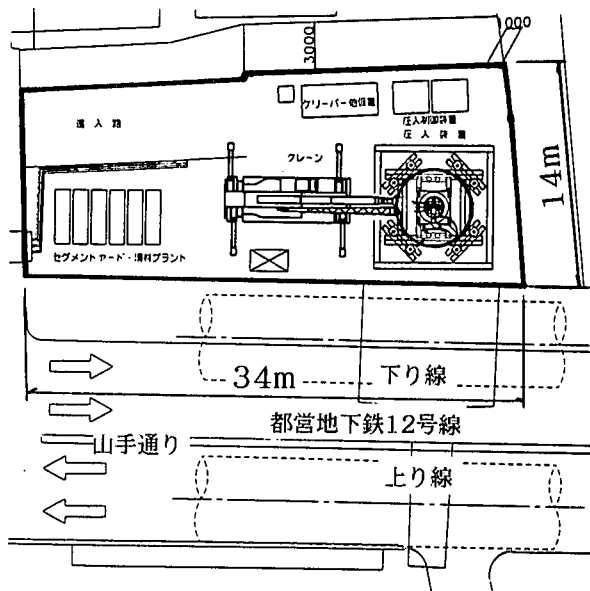


図 - 3 施工ヤード

3. 施工結果

3・1 沈下実績

躯体の沈設についての原理は、ケーソン工法と同様で、沈下の可否の判定は式(1)に示すとおりである。

$$\text{沈下力(自重+圧入力)} - \text{沈下抵抗力(周面摩擦力+浮力+刃先抵抗力)} \geq 0 \dots (1)$$

設計圧入力の算出に当たって、周面摩擦力は道路橋示方書に準拠して算出し、浮力は鋼製支保工の排除体積泥水重量から算出している。刃先抵抗力は掘削に使用した拡開カッターが刃口下の地盤も確実に掘削できるので刃口周長について1tf/mとしている。図-4に圧入実績図を示す。

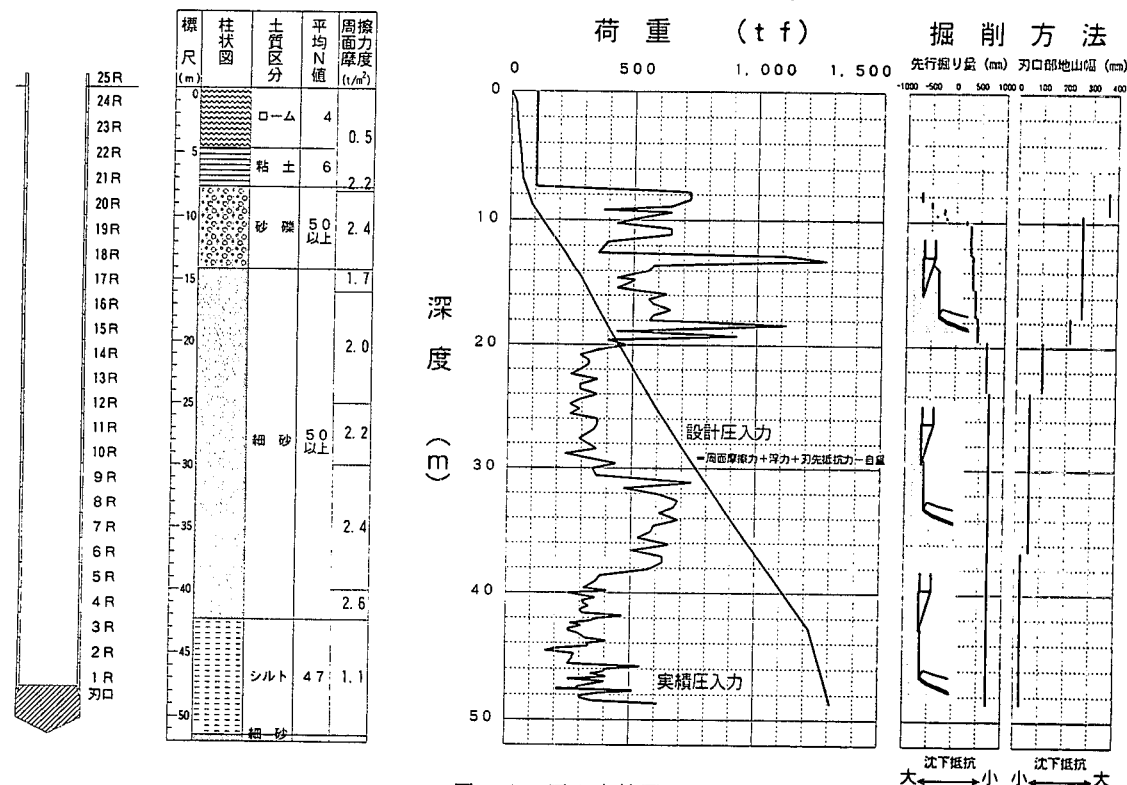


図 - 4 圧入実績図

沈設当初は、沈設精度の向上を図るため、刃口下地山をそのまま掘り残して圧入し、その後、沈設時の挙動を監視しながら、徐々にカッター拡張量および先行掘り量を増やしていった。そのため、砂礫層を含む深度8～20mの浅い区間では、実圧入力が設計圧入力を上回っており、逆に深度20m以深では設計圧入力を下回った値となっている。沈下促進として滑材注入による周面摩擦力低減も行った結果、設計圧入力1310tfに対し、その40～50%（600tf）程度の圧入力で最後まで沈設された。刃口部の径5.11mに対し、最終沈設時の掘削径は5.07mで、径以上の余掘りは行わなかった。

最終沈設時の周面摩擦力を周面積で除した周面摩擦力度は0.97tf/m²と計算され、他のケーソンでの実績値と比較してかなり小さな値を示している。拡張による刃先抵抗の低減と同時に滑材採用の効果、高い沈設精度、躯体が鉄板で構成されていることなどの理由が複合して、小さな圧入力で沈設が可能になったと考えられる。

このことは、本工法の適用範囲がより大きいことを示し、さらに大口径、大深度立坑への適用性を持つことを意味すると思われる。

3・2 施工能率

本工事での一連の作業である掘削、圧入、鋼製支保工組立、配管などの標準的なサイクルタイムを表－2に示す。8時間／日作業として、おおよそ2.2日で1リング（2m）の沈設スピードである。

表－3にリバース純掘削能率を示す。砂礫層で15～20cm／分、砂層および固結シルト層で約35cm／分であった。砂礫層は着工当初の施工で特に慎重な掘削を行ったのに加え、最大径で20～30cmの礫を含んだ層であり、その礫破砕、排泥に時間を要したため、砂層、固結シルト層と比較して能率が低くなったと考えられる。一方、深度増大にともなう能率低下はほとんど見受けられなかったが、排泥比重が増加した場合には深度の増加が能率低下を招くものと考えられる。

表－2 標準的なサイクルタイム

リバース掘削沈設		18.3時間／R
内 駅	準備工	3.4
	支保工組立	3.1
	掘削	6.8
	圧入	3.0
	配管	2.0

表－3 純掘削能率一覧表

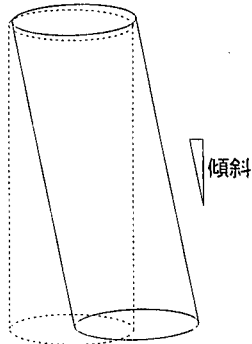
土質名	平均N値	深 度 (m)	能 率 (cm／時)
砂礫層	N≧50	8～14	15.4
砂 層	N≧50	14～30	34.0
		30～42	38.7
固結シルト	N=47	42～51	33.5
全体平均		30.9	cm／時

3・3 施工精度およびその管理

施工に当たっては、掘削圧入時、パソコンを用いた運転管理を実施し、各種機械の運転状況および圧入沈下量などをリアルタイムで計測表示し、オペレータに情報を供給した。これによって、オペレータは掘削機が最適な状況になるように運転を指示するとともに、常時沈下量が一定になるようにジャッキ圧入量の調節を行った。特に掘削運転上、拡張カッターとケーソン刃口の位置関係が把握することが重要で、両者の接触、挟まれを防ぐとともに、沈設管理のためにも、オペレータが一目でわかるように表示することに留意した。

表－4 沈設精度測定結果

測 定 法	沈設深度 (m)	精度 (傾斜)
挿入式傾斜計	20	1／795
	30	1／1804
	40	1／1327
	48.7	1／1012
超音波測定器	48.7	1／1190



これらの管理の結果、傾斜で1/1000以下(計測深度48mに対し偏位量が約4 cm)という高い精度での沈設が行われた。

今回、新しく製作したリバースカッターに取り付けたビットの損耗具合を調査した結果、平均摩耗量で3mm、摺動距離の大きい最外周ビットで最大摩耗量7.9mmという結果であった。ビットには、耐久性を考慮してシールドマシンのカッタービットと同一の材質のものを使用しており、耐摩耗性において良好な結果を得た。

図-4 運転管理フロー

図-5 運転管理パソコンの表示画面

本ポンプ所築造工事では、狭隘で、また民家が隣接する現場において、環境と安全を確保しつつ、しかも短期間で大深度の立坑を構築することが必要であった。本工事に採用した工法は、リバース掘削機による水中掘削とプレハブ化した鋼製支保工、さらに拡張掘削を併用した圧入沈設により、これらの要求を満たすことに成功したと思われる。

今後は、さらに大口径・大深度、また、円形だけでなく矩形立坑への適用、さらに施工管理システムの向上などを図り、ジオフロント開発の一助になればと考える。

最後になりますが、本工法の採用にあたり、設計および施工方法の指導をいただいた東京理科大学・松本嘉司教授に感謝の意を表します。