

ニューマチックケーソンによる 深さ 70 m 大深度立坑築造工事

河 野 浩 之・森 田 篤

東京都の下水道事業では、水再生センター再構築時に不足する水処理能力を他の水再生センターで補完するとともに、地震等の災害時における水処理・汚泥処理のバックアップ機能の確保を目的とする連携事業を推進している。その一環として、東京南部地区において2か所の水再生センター間をつなぐ連絡管を構築する事業において、シールドトンネルの発進立坑をニューマチックケーソン工法により施工した。本立坑は、ニューマチックケーソン工法としては日本で最大級の深度である。

本稿では、大深度のニューマチックケーソン工法の施工に関して、設備や施工管理、沈下精度向上および沈下促進対策などについて紹介するものである。

キーワード：ニューマチックケーソン工法、大深度立坑、無人化施工、地盤特性、沈下促進対策

1. はじめに

東京都下水道局では、水再生センター再構築時に不足する水処理能力を他の水再生センターで補完するとともに、地震等の災害時における水処理・汚泥処理のバックアップ機能の確保を目的とする事業を推進している。その一環として、東京南部地区に位置する芝浦水再生センターと森ヶ崎水再生センターとをつなぐ連絡管を構築する事業が平成25年度より進められており、二つの水再生センターに向ってシールドが発進するための立坑をニューマチックケーソン工法により築造した。立坑深度は71.8mで、ニューマチックケーソン工法としては国内最大級の大深度立坑である。

2. 立坑工事概要

立坑は森ヶ崎水再生センターから約2.3km、芝浦水再生センターから約5.6kmの地点にあり、京浜運河に隣接している大井ふ頭中央海浜公園の中に位置する。工事完成後は点検用の設備を築造し、管理用の施設となる。図-1に連絡管のルートおよび立坑の位置を示す。

立坑の工事概要は以下のとおりである。

工事場所：東京都大田区東海地内

工 期：平成25年9月26日～平成28年2月1日

立坑外径：φ19.0m

立坑深さ：71.8m



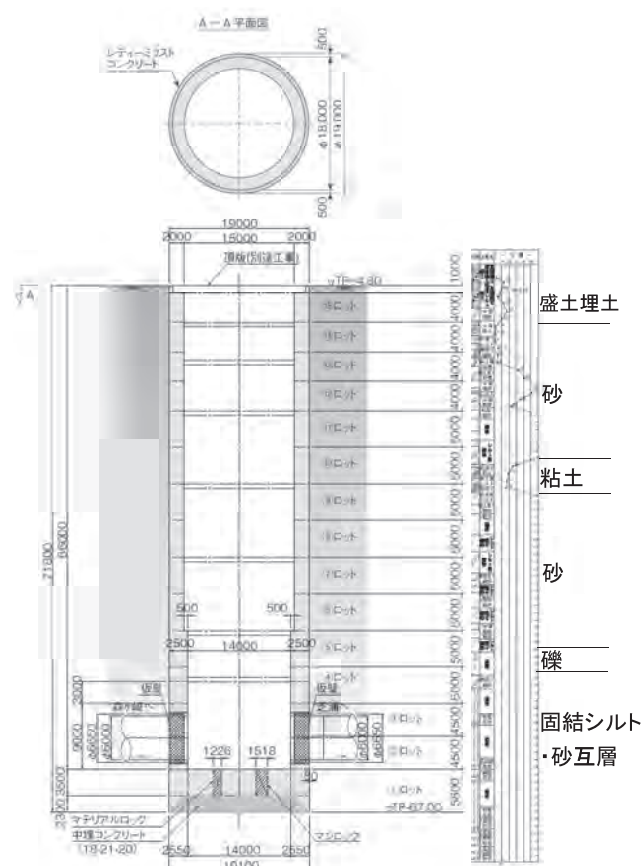
図-1 連絡管ルートと立坑位置

掘 削 工：21,508 m³

コンクリート工：8,605 m³

鉄 筋 工：1,167.8 t

図-2に立坑の構造と地質柱状図を示す。また、写真-1, 2に立坑構築状況を示す。



図ー２ 立坑構造と地質



写真ー１ 立坑構築状況全景



写真ー２ 立坑構築状況

3. 沈下掘削とケーソン設備

(1) 沈下掘削

立坑は、全体を 15 ロット（底版部 1 ロット、側壁部 14 ロット）に分割して施工し、側壁部の 1 ロットの高さは 5.0 m と 4.0 m である。

作業室内にケーソンショベルを 3 台天井に据え付け、その間に衝突防止台車を設置してお互いが接触しないようにして掘削する。作業気圧 0.18 MPa まではオペレーターが直接操作して掘削する「有人機械掘削」にて行ったが、作業気圧が高くなると作業時間の制約を受けることから、地上遠隔操作による「無人機械掘削」にて行った。写真ー 3 に作業室内における掘削状況、写真ー 4 に地上遠隔操作室内における遠隔操作の状況を示す。



写真ー３ 作業室内掘削状況



写真ー４ 遠隔操作状況

掘削した土砂は作業室内にて 1 m^3 のアースバケットと排土キャリアにて地上に引き上げて一旦、 50 m^3 の土砂ホッパーに貯めた。その際、マテリアルロックの中を通過していくが、排気による騒音対策として、上部に消音装置を設置した。発生土はその後、大型ダンプトラックに積み込んで所定の場所へ搬出した。

(2) ケーソン設備

図-3 に設備配置平面図, 図-4 に設備配置断面図を示す。

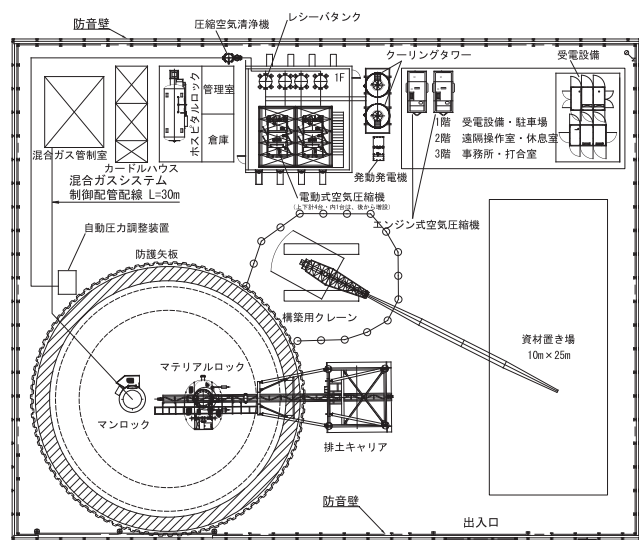


図-3 設備配置平面図

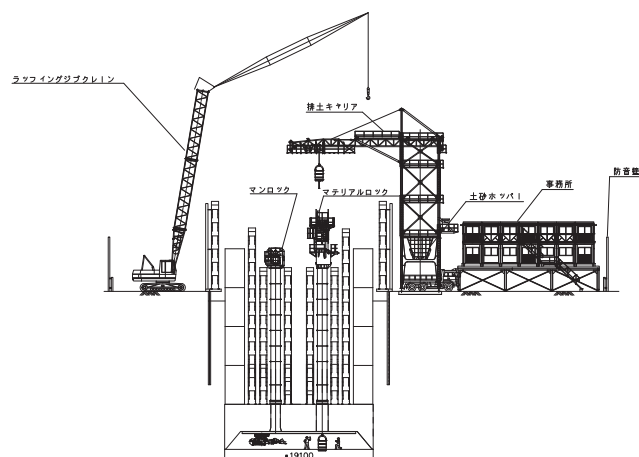


図-4 設備配置断面図

(3) 施工管理

施工中では各種計測機器を配置して、ケーソン躯体に働く力（刃口反力、周面摩擦力）、沈下時の姿勢（鉛直変位、傾斜）などを測定し、実際の状況を計測管理によってリアルタイムに検証しながら施工を進めた。

本工事における特長の一つに大深度ということがあり、最大作業気圧は 0.54 MPa と高い。そのため、減圧症対策に重点をおいた。その主な設備は以下のとおりである。

- ・酸素減圧：0.18 MPa 以上
- ・ヘリウム混合ガス使用：0.39 MPa 以上
- ・エレベーターの早期使用：30 m 以深

さらに、ブラックプール減圧表を採用した自動減圧装置ならびに減圧管理システムを併用して、所定の減

圧時間を確実に確保するとともに、個人の入退坑記録をコンピューターにて管理した。一方、函内の作業環境も重要な安全管理の一つであり、酸素濃度や有害ガス等 5 項目をリアルタイムに監視し、異常値が発生した場合にはただちに警報にて周知するシステムを導入した。万一、緊急事態が発生し、緊急減圧を行った場合に備え、救急再圧のための酸素呼吸装置付きのホスピタルロック（再圧室）を常設した。図-5 にヘリウムガス設備概要図, 写真-5 にホスピタルロックを示す。

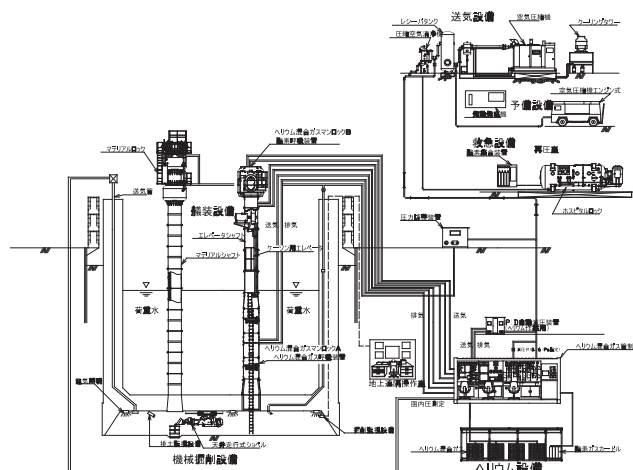


図-5 ヘリウム設備概要図



写真-5 ホスピタルロック

(4) 精度向上対策

本立坑構築地点の深部では硬質な固結シルト層と軟質な介在砂層が分布し、層厚は平面的な変化に富んでいる。そのため、外径 19 m の円周状刃口に作用する刃口抵抗は場所によって異なり、平面的に不均一な（偏った）抵抗力が作用する。ケーソンを精度よく沈設させるためには、事前に得られているケーソン中心線に沿った土質情報に加え、ケーソン刃口（円周）付近の土質状況が重要である。沈下掘削管理では、刃先

抵抗や周辺摩擦などの計測に加え、ケーソン外周に沿って調査ボーリングを実施し、これらの情報をオペレーションに反映した。

4. 沈下促進工

(1) 滑材注入

沈下を促進するために躯体の周面摩擦の低減を目的として、沈下と平行して側壁と地山との空隙部に滑材（商品名：ネオモール 21）を注入している。この材料は、粉末状の一液型滑材であり、粒状弾性体（高吸水性樹脂）が土粒子の間隙へ目詰まりをおこし、初期粘性が高いことから摩擦低減効果が大きい材料である。

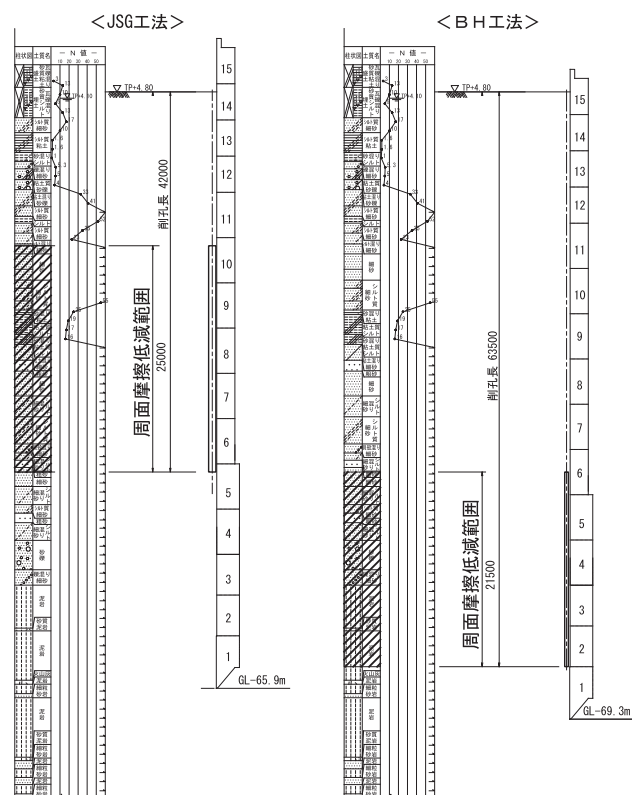
(2) 地盤改良による沈下促進対策

ケーソンの沈設が進んだ段階で、深度 50 m 以深の固結シルト層において、ケーソン側面に大きな地圧が作用する中、硬い地盤によって躯体が拘束されたため、さらなる沈下促進対策が必要となった。

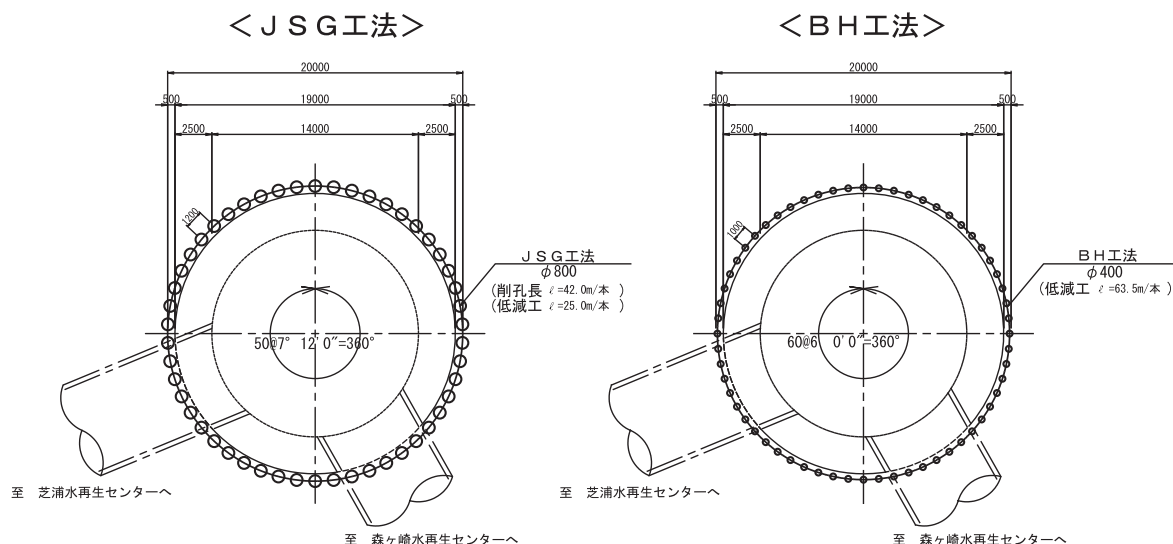
砂質系地盤に対してはケーソン周面の摩擦低減を目的として、高圧噴射攪拌工（JSG 工法）により地盤改良を実施した。JSG 工は、人為的に地盤を切削攪拌して改良あるいは置換するものであるため、限定された範囲を確実に地盤に変化を与えることなく改良することが出来るとともに地盤に応じた強度が期待できる。今回の施工では、JSG の機械を使用し、硬化材は使用せずベントナイト溶液を噴射させることで躯体に付着した土砂を切削しながら、切削攪拌した地盤を保持させた。

固結シルト層に対しては、躯体周囲地盤の応力を解放して、躯体に働く拘束圧を緩和することを目的に

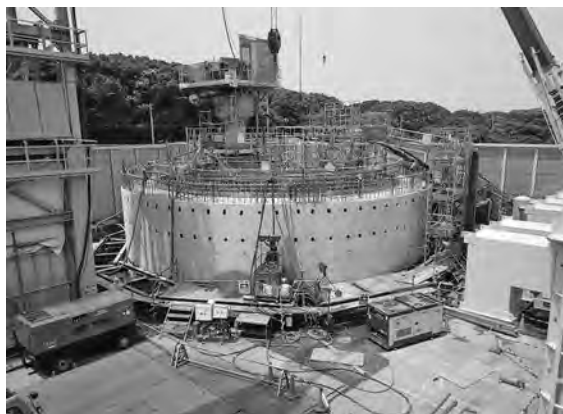
BH 工法による地山の置換を行った。BH 工法では大型のボーリングマシンを使用し、ボーリングロッドの先端に取付けた掘削用ビットを回転させて掘削を行う。掘削は安定液を試錐ポンプによりビット先端に送り、正循環による上昇水流によって掘削土砂を孔口に運び、孔口に設置したサンドポンプで排出する。安定液（ベントナイト溶液）は、濃度調整しながら循環使用し、削孔した孔壁を保持する。図—6 に沈下促進対策工断面図、図—7 に沈下促進対策工平面図、写真—6 に沈下促進対策施工状況を示す。



図—6 沈下促進対策工断面図



図—7 沈下促進対策工平面図



写真—6 沈下促進対策施工状況

5. 周面地盤復旧工

ケーソン沈下促進対策による周面地盤の緩み箇所を原地盤相当強度に復旧することを目的に、置換されたベントナイト安定液にセメントミルクを攪拌して泥水固化による地盤強度の回復を行った。

一般的なトレミー管を使用したエアブローによる泥水固化方法では、掘削孔の底部原位置でエアブローをするため攪拌できる深度に限界があり、また、安定液とセメントミルクの攪拌が十分に行われないことが懸念される。今回の対象範囲は60 m以深であり、かつシールド発進坑口部であるため、30 m以深の深度においても所定容量毎に攪拌できる高圧噴射攪拌工の攪拌機械を使用して、安定液とセメントミルクを混合して泥水固化した。施工後、ボーリング調査にて復旧地盤の強度確認を行った。

6. おわりに

ニューマチックケーソン工法では国内最大級深度となる、深度71.8 mの当立坑構築工事は、深度毎の土質変化に加え、深部の固体シルトと砂の互層においては層厚や性状の平面的な変化にも富んでいるため、沈下促進および沈設精度の確保が非常に難しい工事であった。今後のニューマチックケーソン工法、大深度立坑工事の施工技術の向上にむけて、当工事で得た知見が有用な情報となれば幸いである。

謝 辞

最後になりますが、事業者の東京都下水道局、発注者の日本下水道事業団はじめ、当地域地盤の地層構成や物理特性に応じた施工上の留意事項に関して、ご指導を賜った龍岡文夫名誉教授に感謝いたします。

J C M A

【筆者紹介】

河野 浩之（こうの ひろゆき）
前田建設工業㈱
土木事業本部 技術部
部長



森田 篤（もりた あつし）
前田建設工業㈱
土木事業本部 技術部
技師長

