

自動化オープンケーソン工法 (SOCS) による大深度立坑の効率化施工

ひがしやまと
—東大和立坑工事—

Efficient Construction of Large-depth Vertical Shaft with Automatic System for Open Caisson Method

秋田 満留*1 Mitsuru Akita
山内 佳樹*2 Yoshiki Yamauchi
大森 達彦*3 Tatsuhiko Omori
田中 琢*2 Taku Tanaka
植田 純一*1 Junichi Ueda

要旨

自動化オープンケーソン工法 (SOCS: Super Open Caisson System) は、開発以来 11 件の実績を積み重ね、確実性、高品質、安全性、省人化等について発注者から高い信頼を得てきた。本工法は従来のオープンケーソン工法では困難とされていた硬質地盤への対応を主に、我が国最大級の外径 35m や深度 73.5m の立坑工事に採用され、本工法の特長を發揮してきた。ここでは、厚く堆積した硬質砂礫層と硬質シルト層への適用事例について報告する。

キーワード: オープンケーソン 硬質砂礫 硬質シルト 水中掘削機 SOCS

1. はじめに

先の阪神・淡路大震災や東日本大震災では、被災地の一部地域において代替ルートのない大口径管路の抜出しや破損事故により広域にわたり断水が生じ、震災後の復旧活動や避難生活、住民生活に甚大な影響が出た。このような状況を踏まえて、東京都水道局では将来の首都直下地震や不測の事故に備えて、個別の施設が停止しても可能な限り給水できるように、導水管の二重化や送水管のネットワーク化、バックアップ機能の強化、更新期を迎えた送水管・施設の更新、耐震化などを進めている。

東京都多摩地区では、多摩丘陵幹線と多摩南北幹線の整備事業中で、将来はこれらの幹線が結ばれた大規模な多摩地区送水管ネットワークが形成される (図1)。

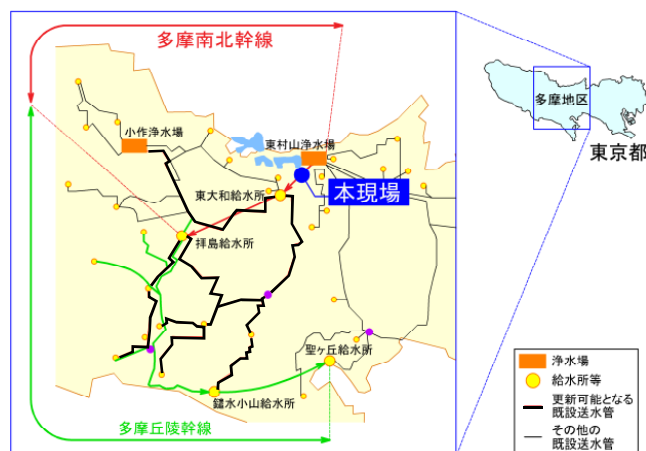


図1 多摩地区送水管ネットワーク¹⁾

このうち、多摩南北幹線整備事業において、東村山浄水場と東大和給水所を結ぶ送水管整備のための立坑を自動化オープンケーソン工法 (以降 SOCS 工法と称す) で施工した事例を報告する。

2. 工事概要

東大和市清原一丁目地内送水管 (2000mm) 用立坑築造工事 (以下; 東大和立坑と称す) は、東村山浄水場と東大和給水所のほぼ中間地点に位置し、双方の施設に向けてφ3080mm のシールドを両発進させるための円形オープンケーソン立坑である。工事諸元を表1に、ケーソン構造図を図2に示す。

表1 工事諸元

工事件名	東大和市清原一丁目地内送水管 (2000mm) 用立坑築造工事
施工場所	東大和市清原一丁目1番地内
発注者	東京都水道局 (監督部署) 多摩水道改革推進本部 施設部 工事課 工事第一係
施工者	鴻池・前田建設共同企業体
工期	平成25年7月2日～平成27年3月10日
構造形式	鉄筋コンクリート円形
躯体寸法	外径 φ15.6m (フリクションカット部 φ15.7m) 内径 φ13.0m (第1ロット～第5ロット), 壁厚 1.3m φ13.6m (第6ロット～第7ロット), 壁厚 1.0m 躯体長 38.68m (沈設長 38.18m), 全7ロット
施工方法	自動化オープンケーソン工法 (SOCS) 圧入設備 1,800kN×8台 シールド発進坑口 SEW工法 (Shield Earth Retaining Wall System)
施工数量	圧入反力用アンカー φ146mm-8本, L=53.8m/本 掘削土量 7,392m ³ RCコンクリート工 側壁部 2,001m ³ , 底版部 266m ³ (H=2.0m) 無筋水中コンクリート工 659m ³ (H=4.5m)

*1 土木事業本部 技術部 *2 東京本店 土木部 *3 東京本店 機材センター

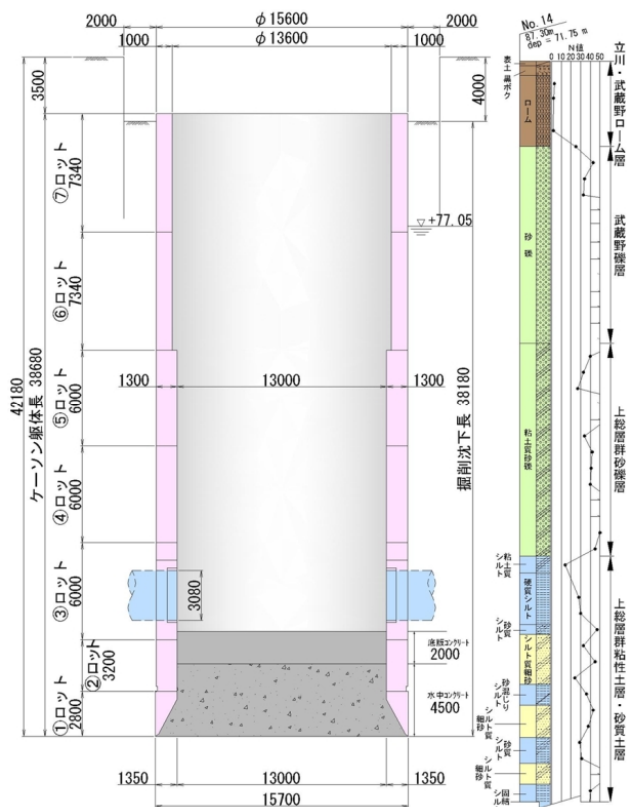


図2 ケーソン構造図

3. 土質概要

地表付近は立川・武蔵野ローム層が約 6m 堆積し、それ
 以深は N 値 50 以上を含む武蔵野礫層と上総層群砂礫層、海
 成堆積の上総層群粘性土層・第 1～第 3 砂質土層で構成さ
 れている。上総層群の砂礫層と砂質土層はシルトに富んだ
 硬質地盤で、硬質砂質シルト層とシルト質砂層は全体に固
 結状を呈している。地下水位は GL-10.5m 付近にある。

4. 自動化オープンケーソン工法 (SOCS)

SOCS 工法は、建設事業における技能労働者不足や高齢化
 に対処し、効率化 (ロボット化) の推進および作業環境の
 改善策の一つとして、建設省総合技術開発プロジェクト「建
 設事業における施工新技術の開発」において、建設省土木
 研究所 (当時)、(財) 先端建設技術センターならびに民間
 会社の共同研究で平成 2 年度から開発が始められた工法で
 ある。

実大規模の実証実験工事を経て、平成 5 年に建設省関東
 地方建設局 (当時) の霞ヶ浦導水事業でのシールド用立坑
 ($\phi 22\text{m}$ 、深度 53.5m) で実工事として初めて採用され、
 以降、大口径・大深度立坑の施工実績を着実に積み重ねて
 きた。施工実績の中には、オープンケーソンの平面規模と

して国内最大規模となる $\phi 35\text{m}$ の雨水調節池 (貯留容量
 20,000 m^3) や、深度 73.5m におよぶ大深度の取水立坑など
 がある。

SOCS 工法の概要図を図 3 に示す。SOCS 工法は (1) 掘削揚
 土システム、(2) 沈下管理システム、(3) プレキャスト躯体
 システム の 3 つから構成されている。

東大和立坑は現場打ちコンクリートによる躯体構築の
 ため、(1)、(2) のシステムが適用されている。この章では、
 これらの 2 つのシステムについて詳述する。

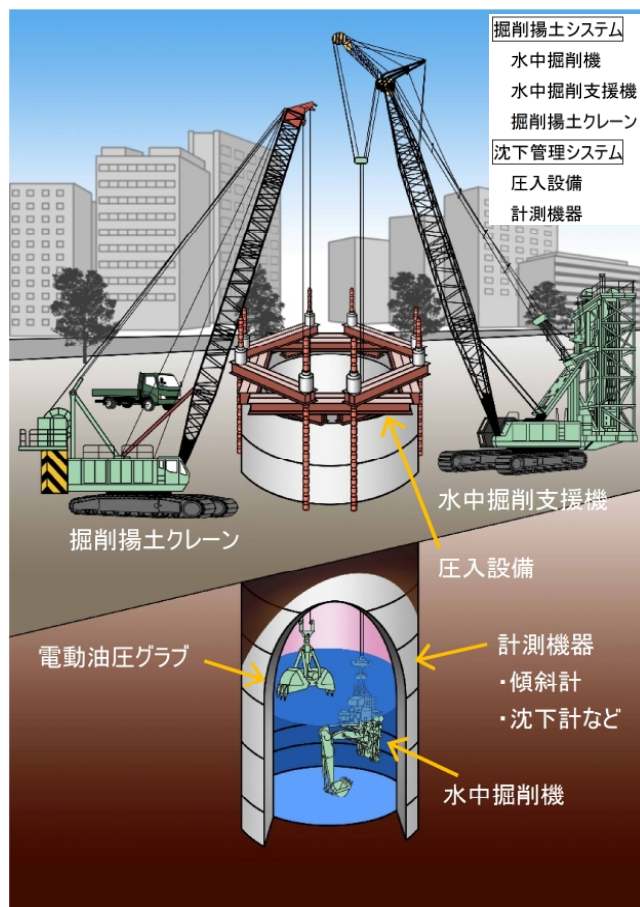


図3 自動化オープンケーソン工法 (SOCS) 概要図

東大和立坑における SOCS 工法の機械編成を表 2 に示す。
 機械台数はケーソン寸法、掘削土量・施工能率、作業時間
 などから、圧入設備は理論沈下曲線による圧入力の結果
 から決定している。

表 2 主要な施工機械

水中掘削機	1 台	耐水圧 1MPa、バケット容量 0.55 m^3 (幅 1m)。
水中掘削支援機	1 台	ベースマシン：汎用 120t クローラクレーン。
掘削揚土クレーン	1 台	ベースマシン：汎用 150t クローラクレーン。
電動油圧グラブ	1 台	容量 3 m^3 、自重 15t (容重比(容量/重量)=5)。
圧入設備	1 式	1,800kN 油圧ジャッキ×8 台、総圧入力 14,400kN。

4.1 掘削揚土システム

本システムは、水中掘削機とこれを支援・管理する水中掘削支援機、ならびに、掘削揚土を行う掘削揚土クレーンと電動油圧グラブから構成されている。

4.1.1 水中掘削機と水中掘削支援機

水中掘削機 (写真1、写真2) はバックホウ型の機械で、地上運転室からの遠隔操作でケーソン刃先直上の躯体内壁に設置した走行レール上を円周方向に走行し、ケーソン刃先下の地盤を掘削する。バケットで掘削した土砂はケーソン中央付近に集土し、掘削揚土クレーン (写真3) にてケーソン内から揚土する。水中掘削機の地上への引上げと整備

架台への移動、ケーソン刃先への投入ならびに電力・制御ケーブルの管理は水中掘削支援機 (120t クローラクレーン、写真4) で行う。

4.1.2 掘削揚土クレーン

オープンケーソン工における掘削揚土は、一般的にはクラムシェルにて行うが、東大和立坑では、硬質地盤の掘削揚土に適する電動油圧グラブを装備した 150t クローラクレーン (写真3、写真5) を使用し、効率的な掘削揚土を行った。なお、躯体構築中は電動油圧グラブを取り外してクレーンフックに付け替え、通常の揚重作業に使用した。



写真1 水中掘削機



写真2 ケーソン刃先付近での水中掘削状況



写真3 掘削揚土クレーン



写真5 電動油圧グラブ



写真4 水中掘削支援機 (クレーンに専用装置を搭載)

4.2 沈下管理システム

本システムは、ケーソンの計測から圧入までの流れを一元化し、1秒毎に更新される傾斜量、沈下量などの計測データを基に迅速かつ高精度にケーソンの姿勢を制御しながら圧入するものである。圧入設備計画を図4に示す。

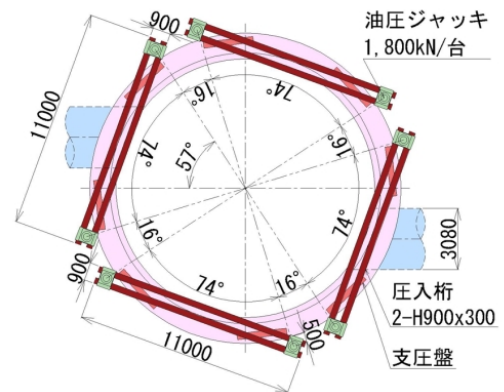


図4 圧入設備

油圧ジャッキの反力は、ケーソン外壁面から 500mm 離れた位置に打設した圧入反力用アンカー（設計アンカー力 1,800kN/本、L=53.8m/本×8 本）により確保した。

5. 施工状況

東大和立坑における、躯体構築と沈下掘削の施工状況を以下に示す。

5.1 躯体構築

側壁コンクリートは、1 ロットあたりの構築高さを 6.0m と 7.34m の全 7 ロットに分割された構造（図 2）で、ケーソン刃先である第 1 ロットと水中掘削機の走行レールを設置する第 2 ロットまでを構築して十分な躯体剛性を確保した後、沈下掘削を行っている。その後は、各ロットの躯体構築と沈下掘削を繰り返し、GL-42.18m までケーソンを沈設した。

5.1.1 走行レール

第 2 ロットに設置した水中掘削機の走行レールを写真 6 に示す。SOCS 工法特有の走行レールは、ケーソン刃先先端から 2.8m 上方に側壁コンクリートと一体化して固定している。水中掘削機の走行装置は走行レールを掴んで機体を固定する機能を有し、これにより掘削反力を確保している。



写真 6 走行レール（9 分割）と刃先部への設置状況

5.1.2 シールド発進坑口

第 3 ロットに 2 箇所設けるシールド発進坑口については SEW 工法（シールド直接発進到達工法）が採用され、鉄筋に替えてシールドマシンで直接切削可能な FFU（Fiber reinforced Foamed Urethane）を坑口部のコンクリート中に設置している。この第 3 ロット構築日数は 24 日（実働日）で、第 4 ロット以降の構築日数は 15 日であった。

東大和立坑の特徴として、シールド発進坑口の平面位置が、立坑中心線からそれぞれ 2,550mm に偏心した位置になっていることがあげられる（図 5、写真 7）。これは、東村山浄水場と東大和給水所に向けてのシールド工事を同時施工することで、多摩南北幹線整備事業の早期ネットワーク化を図るためである。

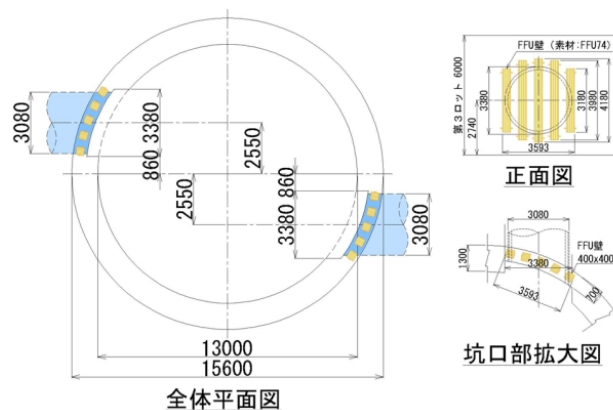


図 5 シールド発進坑口計画



写真 7 坑口部円形型枠（左）と FFU（右）の取付け状況

5.1.3 構築作業の安全性向上

躯体構築ではケーソン内側をほぼ全面にわたり覆工（H 形鋼の骨組みに鉄板を取付け）し、この覆工板上に地組みした内足場を吊り込む方法を採用している。これにより、オープンケーソン工で懸念される躯体構築作業時のケーソン内への転落・墜落災害リスクをなくすとともに、各ロットの構築作業ごとに必要となる内足場の設置・撤去作業を安全かつ効率的に行った。

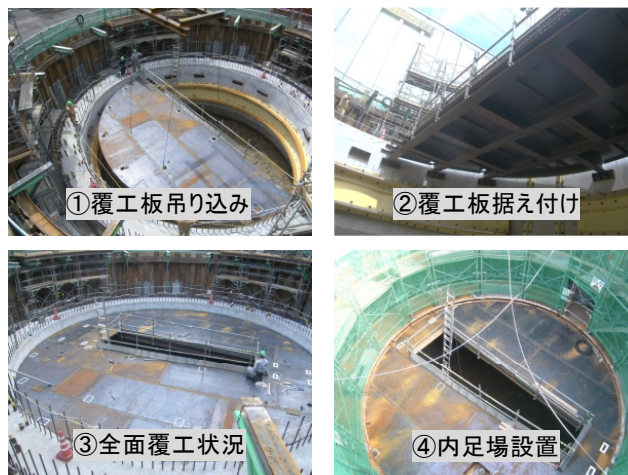


写真 8 ケーソン内側の覆工状況

5.2 沈下掘削

東大和立坑における、掘削揚土システムによる掘削揚土作業と、沈下管理システムによるケーソン圧入作業の施工サイクルを以下に示す。また、各施工サイクルの所要時間を表3に示す。

①幅1mのバケットを装備した水中掘削機で、ケーソン刃先直下の地盤を幅3.5m、円周方向48分割で掘削してケーソン中央に集土する(写真9)。

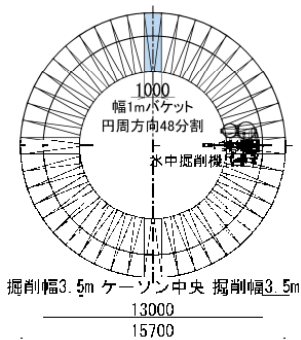


写真9 圧入管理室からの水中掘削機の遠隔操作状況

②水中掘削機による刃先部の掘削完了後、水中掘削支援機で水中掘削機を地上に引き上げて整備台に据え付け、給脂・点検整備する。

③圧入設備でケーソンを圧入する。

(最大圧入力 14,400kN、写真10)

④水中掘削機で集土した掘削土砂とともに、ケーソン中央部地盤を、掘削揚土クレーンに装備した電動油圧グラブで掘削揚土する。クレーン運転席に取り付けたモニター上に電動油圧グラブの平面位置、掘削深度、吊り重量などの情報がリアルタイム表示される掘削支援システムを使用し、水中下での施工管理を行った(写真11)。

⑤含水比の高い水中掘削土砂は、施工ヤード内に設けた土砂ピット(ストック可能量 300m³、写真12左下)にスト



写真10 圧入設備

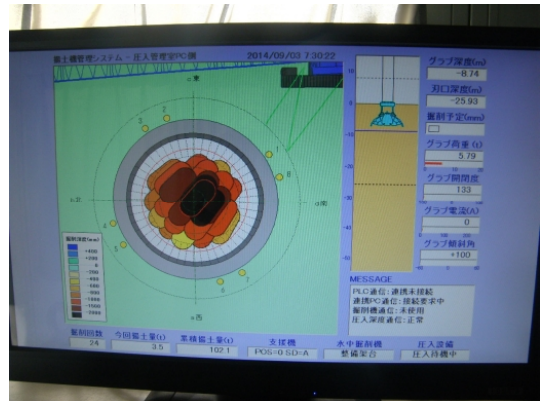


写真11 掘削支援システム



写真12 施工ヤード全景

ックした後、バックホウで天蓋付ダンプトラックに積み込み、中間処理施設に搬出した(改良土として再利用)。

⑥掘削揚土の完了後、水中掘削機を水中掘削支援機で水中に投入し、ケーソン刃先付近に降下させる。

⑦各ロットの沈下掘削完了まで①～⑥を繰り返す。

表3 各施工サイクルの所要時間

作業時間	躯体構築工	8:00~17:00	
	沈下掘削工	掘削揚土のクレーン作業	8:00~17:00
		水中掘削機の水中掘削	24時間可能
所要時間	① 水中掘削機	1周分の掘削時間 約240分	
	② 水中掘削支援機	(ケーソン刃先→地上に引き上げ) 約15~30分	
	③ 圧入設備	(30~60cm程度の沈下) 約30分~120分	
	④ 電動油圧グラブ	(沈下量相当分の掘削揚土) 約120~180分	
	⑤ 水中掘削支援機	(地上整備台→ケーソン刃先) 約15~30分	

沈下掘削では、時間制約がある掘削揚土クレーン作業が昼間の間に優先で施工できるように施工のサイクルを調整し、平均12日(実働日)で各ロットを沈下させている。

5.3 沈下支障対策

硬質砂礫層での沈下掘削は順調であったが、第7ロットの沈下掘削中にGL-35m付近の硬質シルト層($c=346\text{kN/m}^2$)にケーソン刃先を貫入したところ、圧入力を載荷してもケ

ケーソン沈下が得られなくなる事態が生じた。水中掘削機で刃先の土砂を全て除去し刃先抵抗力を完全に除去したが沈下できなかった。ケーソン刃先部の摩擦計の値は、第6ロットまでは周面摩擦力度の設計値（道路橋示方書IV：粘性土=5~10kN/m²、砂礫=22~31kN/m²）と同程度で推移していたが、第7ロットでは200kN/m²以上に急上昇していた。これは、ケーソン刃先部（フリクションカット H=2.80m、B=50mm）が外周地盤からの拘束を受けたことによるものと考えられた。計測値から推定される沈下抵抗力と沈下力の関係を図6に示す。

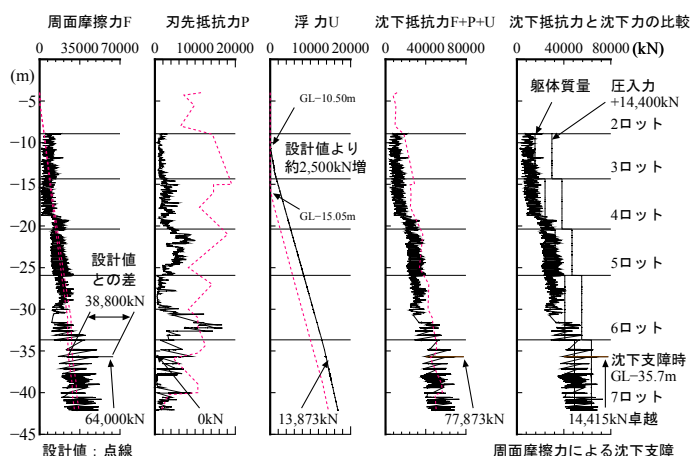


図6 沈下支障時の沈下抵抗力と沈下力の関係

対策工として、ボーリングマシン（削孔径φ135mm）で水噴射しながら沈設完了深度のGL-42.18mまでケーソン背面地盤を切削し、外周地盤を緩めて周面摩擦力の低減を図った。57本の削孔後に圧入力14,400kNを載荷したところ、ケーソン沈下が再開できた。削孔平面位置と施工状況を図7に、ケーソン沈設完了時の精度を表4に示す。

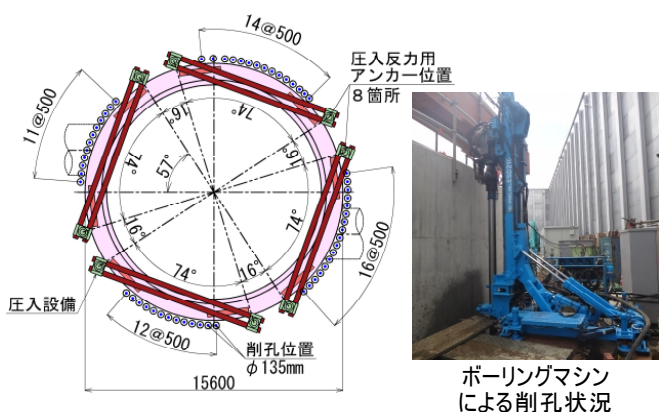


図7 ケーソン背面削孔

表4 施工精度

傾斜量	偏心量	基準高さ
30 mm	14 mm	+71 mm
(-)	(300mm)	(±100mm)

() 内の数字は規格値

6. 水中コンクリート

水中コンクリート材料は、水中不分離性混和剤を添加した水中不分離性コンクリートとし、流動性・充填性、ならびにセルフレベリング性の確保と、打込み時の材料分離に対する抵抗性を高めて品質確保を図っている。

打込みでは、7箇所鉛直打込み位置を定めて流動範囲を約3mラップ（図8）させ、コンクリートポンプ車3台の各筒先を盛り替えながら1層当り約50cmで均等に打ち上げた。ドライアップ後の底部漏水調査では、漏水量が約30/min程度とごく少量に抑制されていることを確認した。

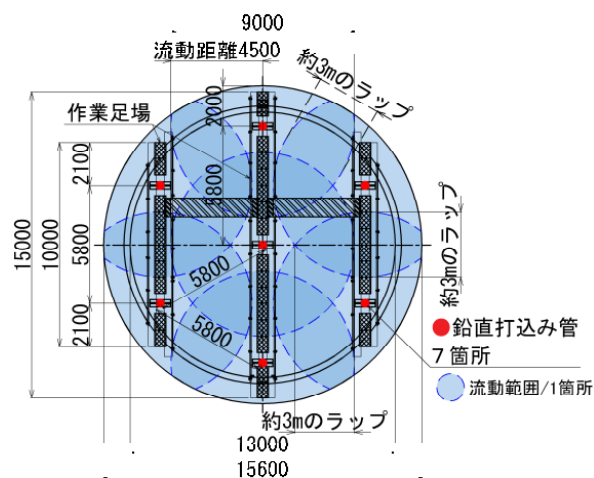


図8 水中コンクリート打込み計画平面図



写真13 水中コンクリート打込み状況

7. おわりに

硬質地盤での沈下掘削において、SOCS工法自体は順調であったが、外周地盤からの拘束による沈下支障が生じた。このような事象は報告例がほとんどなく、また、ケーソン工法では沈下支障時の対策手段は非常に限られているため、今回の対策事例が今後の参考になれば幸いである。

最後に、発注者をはじめとする関係各位の皆様のご多なるご協力、ご指導・ご尽力ならびに地域住民の方々のご理解・ご協力に厚く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 東京都水道局 東京水道経営プラン 2013