

異形断面にも対応可能な新型水中掘削機の開発と実証実験

Development and Test of New Model Underwater Excavator for Deformed Cross Section Open Caisson

西村 敦*1 松尾 多嘉久*2 大島 徳行*2
Atsushi Nishimura Takahisa Matsuo Noriyuki Oshima
西川 博之*3 植田 純一*4 秋田 満留*4
Hiroyuki Nishikawa Junichi Ueda Mitsuru Akita

要旨

自動化オープンケーソン工法（SOCS ; Super Open Caisson System）は、平成 8 年に建設省関東地方整備局（当時）の霞ヶ浦導水事業のシールド立坑工事に採用されて以降、施工の確実性、品質、安全性や省人化に対し発注者から高い信頼を得て、深度 50m 程度の立坑を中心に実績を積み重ねてきた。本工法最大の特徴は、オープンケーソンの施工においてケーソン刃先直下の地盤を水中掘削機で直接掘削・除去できることにある。このたび、従来機から大幅にバージョンアップした新型の水中掘削機を開発した。新型機は、円形断面に加えて、矩形・小判形など異形断面への対応や遠隔操作の制御システムの一新など、多岐にわたる改良が施されている。本稿では、新型機の概要と試験状況について報告する。

キーワード：オープンケーソン 大口径 大深度 円形 矩形 小判形 水中掘削機 SOCS

1. はじめに

自動化オープンケーソン工法（以下、SOCS）は、地下へのアプローチとなる大深度の立坑や基礎の施工技術で、建設省土木研究所、（財）先端建設技術センターおよび民間会社の共同研究で開発された工法である。平成 2 年当時の建設省総合技術開発プロジェクト（総プロ）において、建設事業における技能労働者不足や高齢化に対処するために、ロボット化推進と作業環境の改善策として開発された。

当時、深度 50m 以上の大深度施工が開発目標に上げられた。これに合わせて築造する構造物の断面形状は、土圧・水圧に対し構造上優位かつ経済的な設計断面である円形とし、施工機械や付帯仮設の検討・開発が行われた。

平成 8 年の実工事適用以降、オープンケーソンとして我が国で最大規模となる外径φ35mの雨水調節池や深度73.5mに及ぶ取水立坑など、その優れた施工能力で大規模立坑の施工実績を積み重ねた。しかし近年では、円形断面だけではなく、矩形や小判形などの異形断面での施工ニーズが高まってきた。

今回、異形断面への対応のため、水中掘削機の改良を実施した。この水中掘削機はSOCSのコア技術であり、オープンケーソンの施工において従来は困難であったケーソン刃先直下の硬質地盤を直接掘削・除去できる遠隔操作仕様のバックホウ型機械である。本稿では、SOCSの概要と新しい水中掘削機の特徴ならびに試験状況について報告する。

2. 自動化オープンケーソン工法の概要

SOCS は、掘削揚土システムと沈下管理システムで構成され、施工条件に応じてシステム単独あるいは2つを組み合わせ使用される。概要を図1に示す。

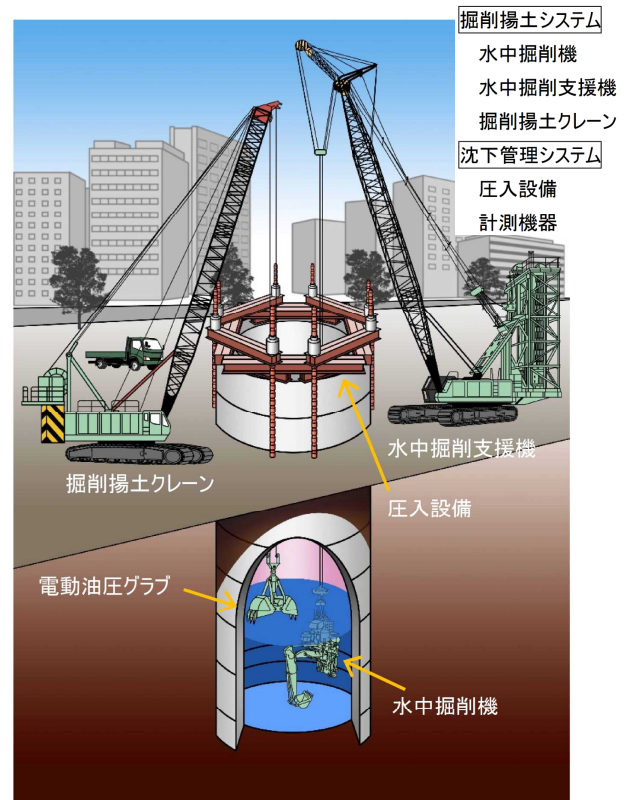


図1 自動化オープンケーソン工法（SOCS）概要

*1 岸和田機材流通センター *2 鴻巣機材センター *3 管理本部 機材部 *4 技術統括本部 土木技術部

2.1 掘削揚土システム

掘削揚土システムは、掘削システムと揚土システムに大別される。掘削システムは、ケーソン刃先直下の地盤の掘削を行う水中掘削機と、水中掘削支援機から構成される。また、揚土システムは、水中掘削機が掘削した土砂の揚土とケーソン中央部の地山を掘削・揚土するクローラークレーン、電動油圧グラブなどの機械で構成される。

2.1.1 掘削システム

(1) 水中掘削機

水中掘削機（写真 1）は地上運転室からの遠隔操作で稼働し、ケーソン刃先近傍の内壁に設置したレール上を、任意の位置まで水平移動する。掘削時は把持装置で走行レールを掴み固定することにより掘削反力を確保し、一般的なバックホウと同様にブーム・アーム・バケットの動作によりケーソン刃先直下地盤を直接掘削する。水中掘削機が掘削した土砂はケーソン中央付近に集積し、掘削揚土クレーンにより揚土してケーソン内から搬出する。



写真 1 水中掘削機（写真は従来機）

(2) 水中掘削支援機

水中掘削支援機（写真 2）は、水中掘削機への電力供給、制御信号の伝達、水中掘削機の地上への引き上げ（メンテナンス時、躯体構築時などに水中掘削機を地上の整備架台上に移動・設置する）、および水中への投入を行う。汎用の 120～150t 吊級クローラークレーンをベースマシンとし、電力ケーブルや制御ケーブル用のケーブルリール等を追加装備している。



写真 2 水中掘削支援機

2.1.2 揚土システム

揚土システムは、掘削揚土クレーン（写真 3）、電動油圧グラブ（写真 4）もしくはクラムシェルから構成される。

掘削揚土クレーンは、クローラークレーンに水中掘削用の掘削揚土支援システムを搭載し、水中における掘削揚土の平面位置、深度ならびに土砂掴み量などを管理している。掘削揚土に用いるバケットは、ケーソン規模や土質に応じて電動油圧グラブや重量型クラムシェルを使い分けている。



写真 3 電動油圧グラブ仕様の掘削揚土クレーン



写真 4 電動油圧グラブ（容量 3m³、重量 15t）

2.2 沈下管理システム

沈下管理システムはいわゆる圧入工法で、油圧ジャッキ、反力用アンカーおよび圧入桁を用い、沈設精度を管理する。SOCS では、沈下掘削中のケーソン計測と圧入作業に関する一連の流れを自動化・システム化している。掘削システムによる刃先抵抗力の調整と傾斜修正しながらの圧入により、従来のオープンケーソン工法では 1/200 程度であったケーソンの傾斜精度は 1/500～1/2,000 に向上している。



写真 5 圧入設備の施工事例

3. 新型水中掘削機について

3.1 異形断面への対応

従来機の走行・把持装置は、円形断面のケーソン内径にあわせた曲率一定の走行レールを前提とし、水中掘削機本体フレームへの走行・把持装置の取付け角度を現場ごとに異なる曲率で調整・固定する必要があった。

新型機では、走行・把持装置（図 2、図 3）が走行レールの曲率に追従して向きを変える機構を導入した。これにより、曲率が直線形状を含む最小半径 2.8m まで連続的に変化するケーソン断面形状に対応可能であり、従来の円形断面に加えて矩形や小判形などの断面のケーソン掘削が可能になっている（図 4）。新型機の主な諸元を表 1 に示す。

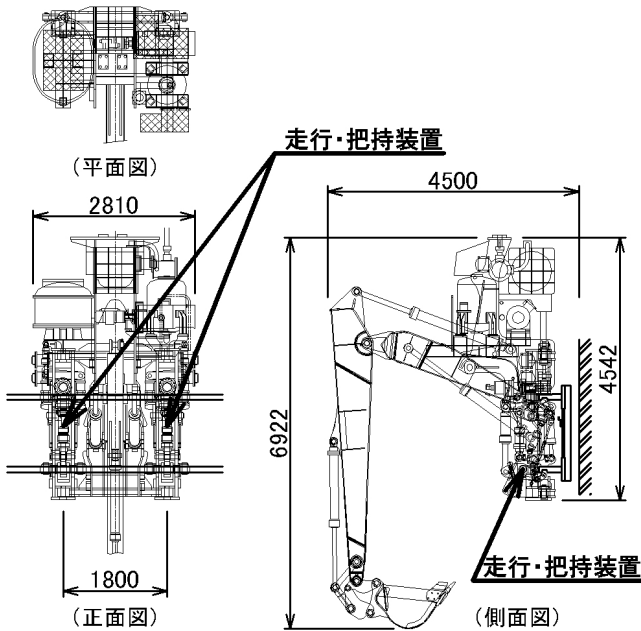
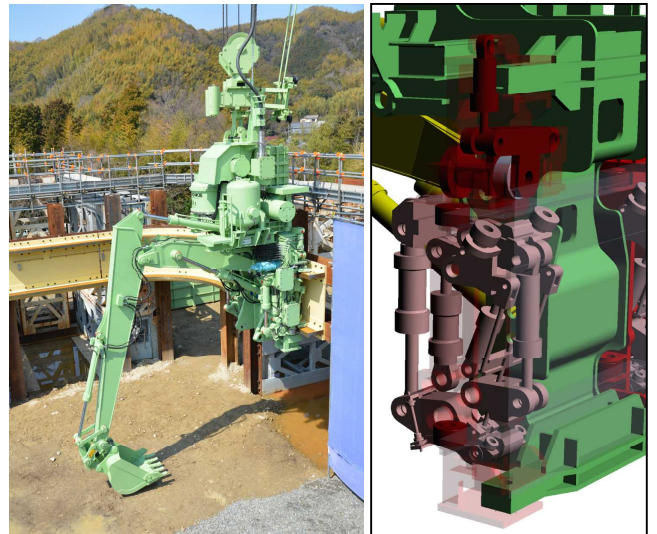


図 2 新型水中掘削機

表 1 新型水中掘削機諸元

SOCS 水中掘削機	
全幅	2,810 mm
全高	待機姿勢時 6,922 mm
奥行	4,500 mm
待避姿勢時バケット高さ	刃口より 988mm (ロングアーム装着時)
質量	18,100 kg
走行速度	水平方向 (直線部, 曲線部) 低速モード 70 mm/sec
掘削方法	遠隔操作式手動掘削
施工可能な側壁厚	最大 3.5 m (水中掘削機の刃先下掘削範囲 5 m)
耐水圧	1.20 MPa (水深 120m のケーソンに対応可能)
掘削精度	ケーソン中央部 ±200 mm ケーソン刃先部 (上下・半径方向) ±100 mm
アタッチメント	バケット (広幅, 中幅, 狭幅), リッパ, 刃先清掃ブラシ
バケット容量	山積 0.55 m ³ (広幅) ~ 山積 0.23 m ³ (狭幅)
電動機型式	油浸型海中電動機 (出力 75 kW/1,750 rpm)
油圧ポンプ型式	可変容量型ピストンポンプ (最高圧力 325 kgf/cm ²)
操作卓, 電力制御盤	据え置き型 (地上運転室に設置)



(新型水中掘削機 前面側) (背面側)

図 3 異形断面对応の走行・把持装置



図 4 施工可能なケーソン断面形状

3.2 施工可能な側壁厚の拡大

大深度構造物では、

- ① 土圧・水圧などの荷重に必要な部材厚
- ② 浮き上がりに対する構造物の安定性確保

などの理由により、側壁厚が極めて大きくなるケースがある。このため、従来機は 2.5m まで施工可能であった側壁厚を、新型機では最大 3.5m まで拡大している。ケーソン刃先直下の掘削パターンと掘削範囲を図 5 に示す。

その他の水中掘削機の主な改良として、耐水圧の向上（従来機 1.0MPa⇒1.2MPa、水深 120m 相当）や掘削能力の向上（従来機比 1.1~1.2 倍）などを実施した。

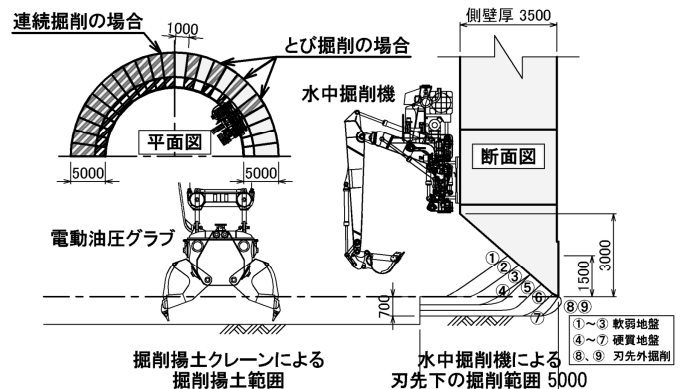


図 5 ケーソン刃先下の掘削パターン

3.3 掘削管理システム

新型機の開発に合わせて、遠隔操作と掘削管理を行う掘削管理システムをバージョンアップした。

本システムは、水中掘削機のブーム・アーム・バケットの各シリンダストローク量からバケット先端位置を演算し、バケット先端の通過軌跡を地上運転室のモニターにリアルタイム表示して掘削形状と掘削量を管理する。従来の二次元管理（平面・断面）から三次元管理に変更し、沈下掘削中の傾斜精度を管理する上で重要なケーソン刃先下地盤全体の掘削量を容易に確認可能となっている。さらに、掘削効率の向上を図るため、バケット先端での掘削力の作用方向をリアルタイムでベクトル表示し、オペレータが地盤に対する掘削力を効果的に伝達可能となった（図6）。

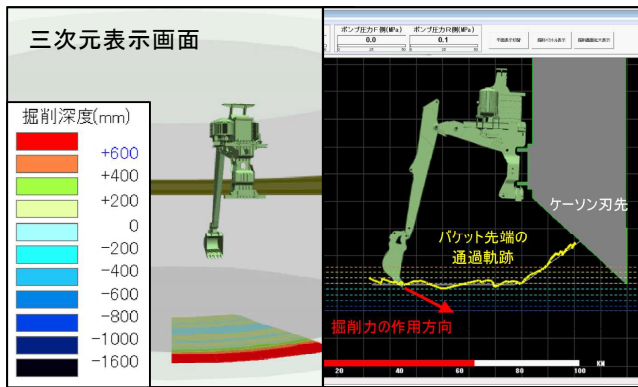


図6 掘削管理システム 遠隔操作モニター

4. 作動確認試験

工場での完成検査後、当社岸和田機材センター内の試験ヤードにおいて、実工事に向けての作動確認試験を実施した。試験は、側壁厚さ 3.5m のケーソン刃先を想定した高さに直線と曲線を組み合わせた走行レールを設置して行われた。試験内容を表2に、試験ヤードを図7に示す。

今後は模擬硬質地盤での実負荷掘削試験を実施し、掘削能力の確認、機械負荷の影響調査等を予定している。

表2 作動確認試験

項目	作動確認試験内容	結果
遠隔操作 リンクモーション 掘削力	・遠隔操作に対する水中掘削機のリンクモーション	○
	・掘削力の出力確認、ベクトル表示機能	○
	・機械と掘削管理システムとの整合性、応答性	○
走行装置 把持装置 排土板	1) 壁厚 3.5m用ロングアーム 使用時	ok
	2) 壁厚 2.5m用ショートアーム 使用時	ok
油圧回路 安全装置	・直線、曲線の走行レールでの動作	○
	・走行レール上の堆積土砂の排除機能	○
	1) 走行 : スムースな走行と停止	ok
	2) 把持 : 水中掘削機の固定、解放	ok
	・電動機、配管、モニター出力、油圧・油温確認	○
	・各種警報、安全装置、緊急離脱装置の作動確認	○

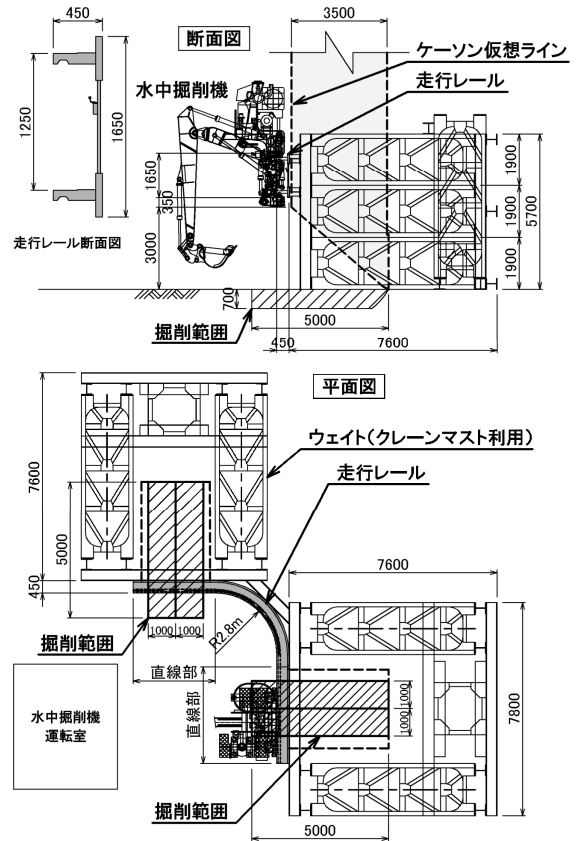


図7 試験ヤード



写真6 作動確認試験中の新型水中掘削機

5. まとめ

熟練した技能労働者が減少する中、SOCS は自動化・ロボット化による安全作業の確立や作業環境の改善等に取り組み、大深度立坑や基礎の施工技術の一つとして実績を重ねてきた。

新型水中掘削機の異形断面や大断面への対応により、幅広い施工ニーズにより柔軟に対応するとともに、経済的かつ環境に優しいオープンケーソン工法の利点を活かして更なる適用の拡大を図り、地下空間の利用促進を通じて社会に貢献していく所存である。