

# 大型構造物をニューマチックケーソン工法で沈設する 東尾久浄化センター主ポンプ棟建設工事

齋木 正・遠藤 和雄

テニスコート8面分に相当する4,837 m<sup>2</sup>の平面積を有する大型構造物を、ニューマチックケーソン工法で地下43.9 mまで沈設させた。ケーソンはその面積が大きくなるほど、わずかな傾斜や変形で構造的に大きな負荷が発生するが、対角延長99.6 mに対し沈設完了時の高低差はわずか4 mmという高い精度を実現した。ここでは、平面積の大きなケーソン特有の構造・施工面の各特徴について、沈設完了までに実施した施工方法とともに紹介する。

キーワード：ニューマチックケーソン、大規模面積、大型構造物、機械化施工、無人化施工

## 1. はじめに

東京都荒川区に位置する「東尾久浄化センター」は、隅田川の水質浄化及び東京湾の富栄養化防止対策の一環として、三河島処理区の一部汚水の処理及び三河島処理区の一部雨水を吸揚するため計画した施設である。また、既設の尾久ポンプ所の更新と能力増強を図るための代替機能を併せ持った施設である(図-1)。

本施設が完成すれば、排水面積約610 ha、排水量は晴天時時間最大汚水量3.29 m<sup>3</sup>/s、雨天時時間最大汚水量8.7 m<sup>3</sup>/s、雨水量60 m<sup>3</sup>/sの処理施設となる。

本稿は当施設の中核となる2つの主ポンプ棟(尾久系、西日暮里系)のうち、世界最大規模のニューマチックケーソン工法で建設が進められている東尾久浄化センター西日暮里系主ポンプ棟工事について紹介する。



図-1 東尾久浄化センター完成パース

## 2. 工事概要

### (1) 工事概要

工事概要を表-1に示す。

表-1 工事概要

工事名称	東尾久浄化センター主ポンプ棟 建設工事(その2・3・4)
工事場所	東京都荒川区東尾久七丁目2番地
事業主体	東京都下水道局
設計監理	日本上下水道設計(株)
施工者	清水建設(株)
工期	平成18年9月12日～ 平成23年2月28日(その2・3・4)
躯体平面積	4,837 m <sup>2</sup> (62.1 m×77.9 m)
最終深度	TP-41.2 m
施工方法	ニューマチックケーソン工法

東尾久浄化センターの全体平面図を図-2に、主ポンプ棟の標準断面図を図-3にそれぞれ示す。全体敷地面積は74,046 m<sup>2</sup>、北側に隅田川、南側に首都大学、西側には(株) ADEKAビルがそれぞれ隣接している。

このうちここで紹介するケーソンは図中に示す主ポンプ棟であり、4,837 m<sup>2</sup>を占めている。その他敷地内には既に稼働中の砂ろ過槽、現在工事中西日暮里幹線、および高度処理施設などが計画されている。

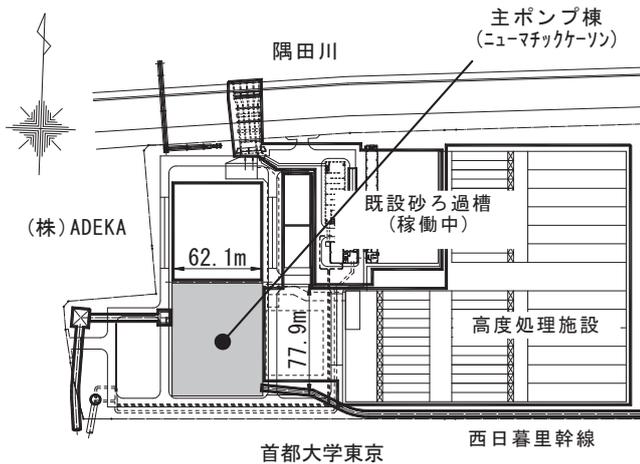


図-2 全体平面図

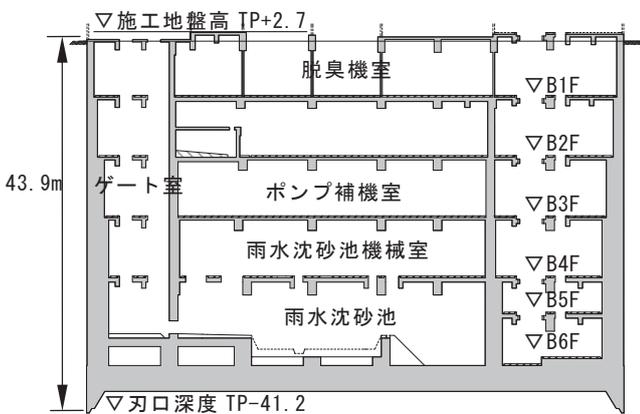


図-3 主ポンプ棟の標準断面図

(2) 主要数量

主要数量を表-2に示す。

表-2 主要数量

土工事	一次掘削 41,149 m <sup>3</sup> ケーソン掘削 199,876 m <sup>3</sup>
コンクリート工	躯体部 74,207 m <sup>3</sup> 中埋部 10,262 m <sup>3</sup> (上記は撤去部 3,109 m <sup>3</sup> 含む)
鉄筋工	10,308 t
型枠工	型枠工 89,508 m <sup>2</sup> 鉄板型枠工 5,220 m <sup>2</sup> (960t)
地盤改良工	改良体積 72,083 m <sup>3</sup> (7.0m~16.0m, 合計 4,047 本)
最大作業気圧	0.38 MPa

3. 地質概要

土質柱状図を図-4に示す。TP-26m以浅では軟弱な有楽町層(N値=1~4のシルト層)が続き、それ以後は堅固な埋没段丘礫層(N=50以上の砂礫)、江戸川層(N=50以上の細砂)からなる。

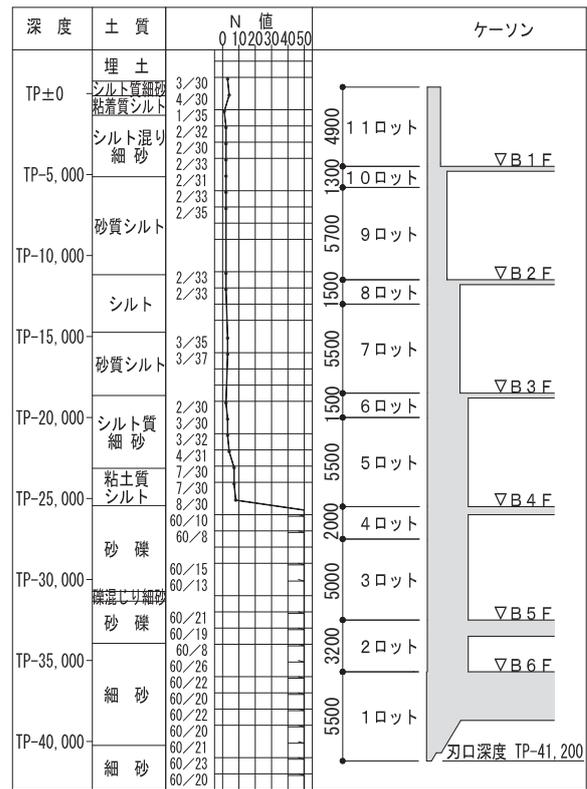


図-4 土質柱状図

4. 平面積が大きなケーソンの特徴

大規模面積を有するニューマチックケーソンの特徴について、一般的なものと比較した場合の特徴と、本ケーソンでの具体的実施例を下記に記す。

(1) 構造的特徴

(a) 吊桁構造の採用

ケーソンの底版は完成すれば直接基礎としての機能を果たすが、施工中は大規模な函内空間を柱無しで支える天井として機能する。ケーソンの平面積が大きくなるに従いこの天井もより大きなスパンに耐えられる剛性を有している必要がある。

本ケーソンは底版の面積が62.1m×77.9mと大規模になることから、底版上部(躯体内部の地下6階から地下4階床レベル、高さ15.7m)に格子状に補強仮壁を配置し、この補強仮壁と底版が一体化した逆T形状を有する吊桁が連続する構造とした。これにより80枚の四辺固定スラブ(最大で9.0m×9.0m)に分割した構造とし沈設中のケーソン躯体の剛性を確保した(図-5)。

すなわち、沈設中に発生するねじれや曲げに対し、一般的なケーソンは底版のみの剛性で抵抗するが、本ケーソンでは格子状に補強がなされたボックス構造としてその剛性を確保したのである。

ケーソン躯体の沈設はこの吊桁構造部の構築が全て

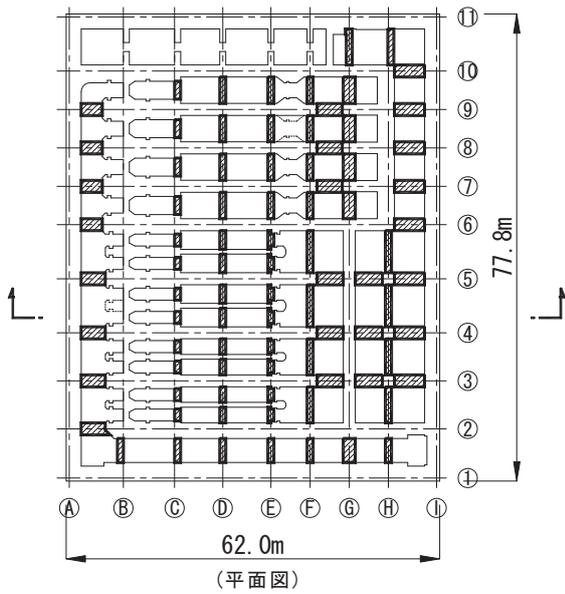


図-5 吊桁配置図

完了してから開始した。なお、この補強仮壁は、ケーソンの沈設が完了し中埋めコンクリートを打設した後に切断・撤去した(図-5断面図参照)。

(b) スラブ鋼板の採用

ケーソンは沈設の過程で躯体にねじれや曲げが発生するが、大型になるほどこの現象が大きくなり底版にひび割れが発生する可能性がある。

本ケーソンはこれにより内部へ漏気が生じることを防止するため、底版下面および刃口部の全面を鋼板で覆った構造とした。また、この鋼板は吊桁の構造部材(仮設)としての機能も有するものとして底版の鉄筋量の削減を図り、漏気対策だけでなく経済的設計を行った。

(2) 施工的特徴

(a) 初期沈設時の姿勢制御

大型ケーソンは沈設中に必要な剛性を確保できる構造を構築してから沈設を開始するために、沈下掘削開始時の重量が通常のケーソンに比べて大きなものとなる。本工事では沈下掘削開始時(図-6)のコンクリート量が43,000 m<sup>3</sup>を超え、設備を含めた躯体重量は11万t程度にもなった。

沈設開始前までは底版および刃口部の全面積で躯体重量を支持しているが、初期の掘削が進むにつれて重量を支持する面積が減少する。これが軟弱な地盤であ

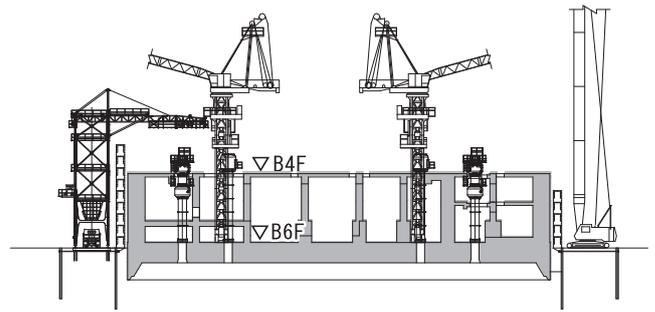


図-6 初期沈下時状況図

れば、初期の掘削時に支持力を失って躯体が急激に沈下し傾斜するリスクが高くなる。

本ケーソンは軟弱な地盤に対して刃口部で支持する地盤の面積を確保するため、幅300mmの水平部を有する2段刃口形状(図-7)として設置面積を増加させるとともに、地盤改良を実施して地盤の支持力を高めることで対応した。本工事での地盤は軟弱層がTP-26.0付近まで続いていたため、この対応策は初期の沈下掘削時だけでなく、その後の姿勢制御での効果も大きかった。

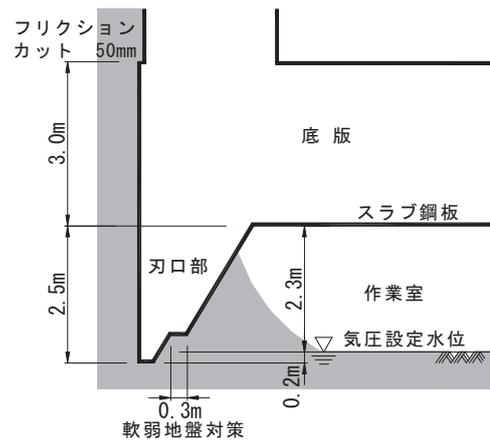


図-7 2段刃口形状

地盤改良は、図-8に示すように刃口付近に残された地盤面からケーソンの自重による円弧滑りを想定

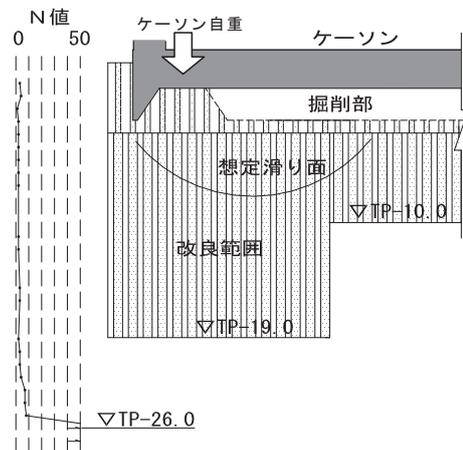


図-8 地盤改良概念図

し、安全率が確保できるように設定した（サンドコンパクション工法による置換率 29% で  $N$  値  $\geq 8$  相当）。

#### (b) 沈下掘削中の姿勢制御

一般的に軟弱地盤の場合は沈下掘削中の過沈下を防止するために刃口周辺の土を多く残し、躯体重量を支持する地盤の面積を増やすことで対応する。掘削面積が大きなケーソンは同じ開口率であっても通常のケーソンに比べて掘削できる面積が大きく作業しやすいため、この方法は平面積の大きなケーソンにとって姿勢制御に特に有効である。

本工事における刃口深度と開口率の関係を図-9に示す。TP-26.0 以浅の軟弱地盤掘削時には、開口率を 80% 程度とすることで躯体の過沈下および傾斜を防止し、それ以深の堅固な地盤の掘削時には開口率を 90% 以上とした。なお、ケーソンは沈設完了まで大きな姿勢不良は無かった。

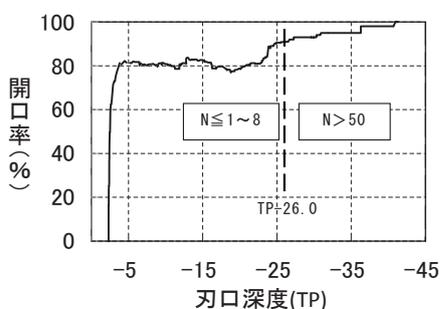


図-9 刃口深度と開口率

#### (c) 沈下力の管理

(a) 初期沈設時の姿勢制御で述べたとおり、大型ケーソンは沈下掘削開始時の躯体重量が大きいいため、その後の沈設途中での躯体構築による重量の増分は全体重量の割合に比較して小さなものとなる。

本ケーソンは沈下掘削開始時の躯体重量が 11 万 t 程度あったのに対し、その後のコンクリート打設ロット割の分割により躯体の重量増を全体の 3~4% 程度にとどめた。これにより、沈設途中での急激な沈下力増加を無くし、沈下抵抗力（浮力+周面摩擦力）に合うように徐々に増加させた（図-10）。そのため、

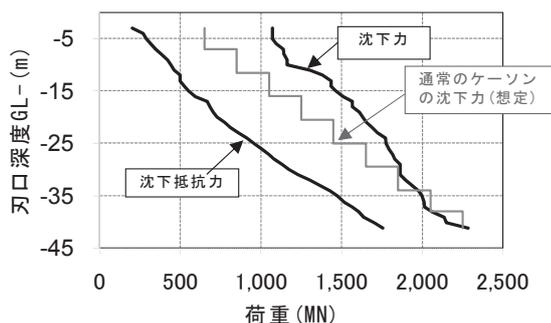


図-10 沈下関係図

本ケーソンは躯体構築が原因となる急激な沈下リスクを排除し、安定した沈設を図れた。

#### (d) 漏気対策

ケーソンは平面積が大きくなるほど 4 隅の距離が離れるため、刃口が受ける土質が異なる可能性が高まる。沈設過程で地層の傾斜などにより  $N$  値や土質の層境などの性状に差異がある場合には傾斜しやすく、漏気に対するリスクが大きくなる。

そこで本工事は刃口先端から地中外部への漏気を防止するために、図-7に示したようにケーソンの作業室高 2.3 m よりも 0.2 m 高い 2.5 m の刃口高を採用し、刃口先端が常に 0.2 m 地中に先行している状態とした。

これにより、沈設完了までは漏気は認められなかった。

また、躯体外周に 4 箇所の漏気観測用井戸を設置し、万一漏気が発生した際には、現場周辺の地下施設への入場を一時制限して管内圧の低減などの漏気対策を実施する計画とした。

#### (e) 底版構築

底版は鋼板を敷設し溶接にてこれらを連結した後、その上にマンシャフト・マテリアルシャフトを一体化し、鉄筋を組立ててコンクリートを打設した。

底版の下筋には D51 などの鉄筋が高密度に配筋されているため、T ヘッド工法と高流動コンクリートを併用し、確実に充填できるよう配慮した（写真-1）。

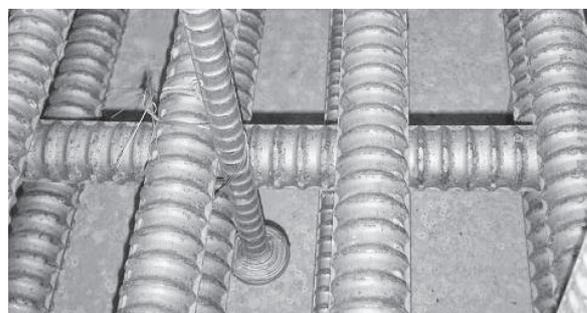


写真-1 Tヘッド工法

T ヘッド工法に用いる端部拡張鉄筋は、せん断補強鉄筋のフック形状の代わりに、端部を拡張したもので、特に高密度配筋に対するコンクリートの充填不良対策として多く用いられているものである。

高流動コンクリートはフロー値 650 mm 以上、そのロス率は 90 分で 50 mm 以内である材料とし、あらかじめこの条件を満足できるように流動性とその保持時間について試験練りを行い、配合を決定した。

#### (f) ケーソン沈下掘削工

##### ① 機械設備

ケーソン沈下掘削に使用した機械設備を表-3に示す。大規模面積に対応するため、コンプレッサーは

表一3 機械設備数量一覧

設備名称	機械	数量
掘削沈下	ケーソンショベル(0.15 m <sup>3</sup> )	30 台
送気設備	コンプレッサー(31 m <sup>3</sup> /min)	21 台
排土設備	土砂ホッパー(30 m <sup>3</sup> )	14 基
	排土キャリア(1 m <sup>3</sup> )	12 基
	クローラクレーン(50 t 吊)	2 台
艀装設備	マテリアルロック	14 基
	マンロック	10 基
	ケーソン用エレベータ	2 基
減圧設備	酸素減圧設備	1 式
救急設備	ホスピタルロック	6 基
揚重設備	クローラクレーン(100 t 吊)	4 台
	タワークレーン(180 tm 吊)	4 台



写真一2 ケーソン掘削状況

21 台, ケーソンショベルは 30 台, マンロックは 10 基, マテリアルロックは 14 基をそれぞれ配置した。

②計測管理

ケーソンの沈下管理はケーソン計測システムを用いた。計測項目と使用機器数量を表一4に示す。計測はケーソン躯体の鉛直変位, 傾斜, 刃口反力, スラブ(底版)

表一4 計測項目と機器数量一覧

	計測項目	計測器	数量	備考
ケーソン 姿勢制御	ケーソン鉛直変位	レーザー距離計	1台	
	ケーソン傾斜	傾斜計	4台	(X、Y) 2軸型
ケーソン 沈設管理	刃口反力(15 MPa)	盤圧計	4台	
	刃口反力(10 MPa)	盤圧計	24台	
	スラブ反力(15 MPa)	盤圧計	4台	
	スラブ反力(10 MPa)	盤圧計	24台	
	周面摩擦力	周面摩擦力計	8台	
	土圧	土圧計	8台	
	間隙水圧	間隙水圧計	8台	水頭 42.7 m
	函内気圧	圧力計	2台	最大作業気圧 0.36 MPa
水荷重	間隙水圧計	4台		
ケーソン 躯体管理	鉄筋応力 (直角方向)	鉄筋計	40台	側壁(長手方向)
			40台	側壁(短手方向)
			15台	隔壁(長手方向)
			15台	隔壁(短手方向)
	鋼板応力計	ひずみ計	20台	
	床版変形	基準水槽	2台	
水盛式沈下計		26台	盛替え用1台含む	

反力, 周面摩擦力, 土圧, 間隙水圧, 函内気圧, 水荷重, 鉄筋応力, 鋼板応力, 底版変形量の 12 項目である。これらより得られた情報は関係者全員がリアルタイムに確認し, ケーソンの急激な沈下や傾斜が生じないように気圧の調整, 刃口の荷重バランスと開口率を調整しながら掘削した。最終的には高低差 4 mm で着底でき, 躯体の平均沈下速度は 1 日に約 10 cm であった。

③無人掘削

有人掘削による沈設が進み, 作業室内の気圧が 0.18 MPa を超えた時点で遠隔操作による無人掘削に切り替えた。無人掘削のオペレータの配置は実際のショベルの配置(レール 1 列にショベル 3 台)と同様にオペレータ 3 人が隣同士に並んだ配置とし, 遠隔操作ではあっても近くで作業するオペレータ同士が互いに声をかけあえる環境とした(写真一3, 4)。また, 躯体傾斜(4 隅の高低差)がリアルタイムに映し出されるモニター画面(写真一5)を部屋の中央正面に配置し, オペレータ全員が常に監視できる環境とした。



写真一3 有人掘削状況



写真一4 無人掘削状況(遠隔操作室)



写真一5 躯体の傾斜表示モニター

### (g) 残土搬出工

本工事ではケーソンの沈下掘削に伴い約 212,000 m<sup>3</sup> (10 t ダンプ約 38,500 台分) の建設発生土を搬出した。周辺地域への影響を避けるため、この大量の発生土は場内に設置した土砂搬出用の設備 (ベルトコンベヤ) にて土運船に積込み、隣接した隅田川から水上運搬にて搬出した。その後、東京湾の下水道局施設の栈橋 (森ヶ崎再生センター) で陸揚げし、ダンプトラックに積み替えて、東京湾の埋立施設 (新海面処分場) 等の埋立材として再利用した。これによって1日当りの掘削量に相当するダンプトラック 80 台分の土砂を土運船 2 隻で運搬し、工事近隣道路の交通環境にも配慮ができた。

### (h) 中埋めコンクリート工

ケーソンが着底し地耐力試験を実施した後に、中埋めコンクリートを打設した。打設量は 10,262 m<sup>3</sup> に及んだ。

中埋めコンクリートの分割施工は通常では行わないが、東京都の条例で1日あたりの作業時間が10時間を超えてはならないこと、および東京都が環境基準を受けて作成した事業計画では隣接した道路での騒音の制約が 65 dB 以下であることから生コン車の受入間隔が 29 台以下/時間となる。これらが制約となって過去に例を見ない8分割での打設になった。

中埋めコンクリートは高気圧環境下の閉塞された空間に打設するため、人によるコンクリートの締固めが出来ず、品質は生コンクリートの自己充填性に大きく影響する。本工事では分割施工となるため、先に打設して硬化したコンクリート表面の凹凸形状が、次に打設する生コンクリートの流動性を阻害することが懸念された。特に、作業室の天井まで打上げる最終層では、これが障害となって未充填箇所ができた場合には重大な欠陥となるため、流動性の高いモルタルを使用した。

また、コンクリートの投入は沈下掘削時に圧縮空気を送っていたブロー管 (50 箇所) を打設管として使用するが、使用した打設管の直下の位置でコンクリートは円錐の山形を形成するので、打設は毎回別の管から行い、全体にコンクリート表面の形状が水平をなすよう配慮した。

その結果、最終打設時には全ての打設管からモルタルの噴出を確認でき、良質な中埋めコンクリートを施工することが出来た。

写真—6 はケーソン沈下の一連の作業完了後の補強仮壁撤去中の状況写真である。

## 5. おわりに

本稿は世界最大規模のニューマチックケーソン工法の施工について紹介した。



写真—6 工事状況 (沈設完了, 補強仮壁撤去中)

今回の施工で得られた知見は次の通りである。

- ①大型ケーソンは、躯体の剛性を確保するため初期沈下時の重量が大きくなり、初期段階での姿勢が不安定になりやすかった。
- ②その反面、初期沈下時の重量が大きいことで、沈下掘削中の打設1回当たりのコンクリート重量増分が全体重量の3～4%程度以下となり、これが過沈下防止対策となってケーソンの姿勢制御に有効であった。
- ③底版の全面を覆ったスラブ鋼板は漏気防止対策に有効であった。
- ④軟弱地盤対策として掘削開口率を変化させることにより姿勢制御を行う方法は大型ケーソンにとって有効であった。
- ⑤作業室高さ  $H = 2.3 \text{ m}$  に対して刃口の高さを  $H = 2.5 \text{ m}$  とし、常に刃口を掘削地盤に  $0.2 \text{ m}$  先行した状態とすることで、地中へ漏気させることなく掘削することができた。

本工事はケーソンの沈設を平成 22 年 4 月に、補強仮壁の撤去を平成 23 年 2 月にそれぞれ完了した。現在は上屋工事を鋭意施工中である。

最後に、本工事の施工にあたりご指導・ご協力を頂いた関係各位の皆様に記して感謝の意を表します。

JICMA

#### 【筆者紹介】

齋木 正 (さいき ただし)  
清水建設  
土木東京支店 土木第三部  
東尾久浄化センター作業所  
所長



遠藤 和雄 (えんどう かずお)  
清水建設  
土木東京支店 土木第三部  
東尾久浄化センター作業所  
工事主任

