

### 3-2-5 ニューマチックケーソン工法における躯体の傾斜の修正

#### について～芝浦水再生センター導水渠立坑設置工事～

第二基幹施設再構築事務所 工事第一課 遠藤 大雅

#### 1. 本工事について

##### 1.1 工事概要

芝浦水再生センター導水渠立坑設置工事は、芝浦水再生センターの再構築にあたり立坑を設置する工事であり、令和5年1月27日に完了した。将来接続される水路は千代田幹線、新主ポンプ棟への導水渠2本（導水渠B、導水渠F）及びセンター内の既存水路である。立坑の形状は幅20.5m×長さ25.2m×深さ65.4m（GL-64.9m）であり、工事はニューマチックケーソン工法によって施工された。

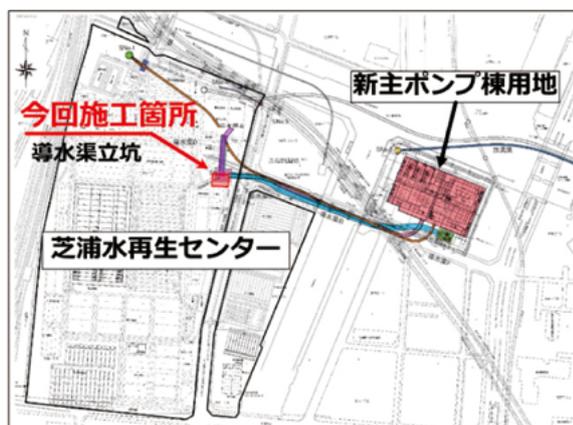


図1 案内図



図2 接続予定水路

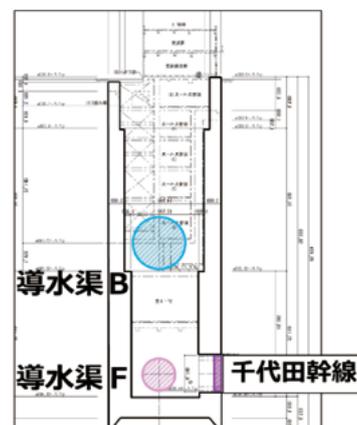


図3 断面図

##### 1.2 ニューマチックケーソン工法について

ニューマチックケーソン工法(Pneumatic caisson method)の「Pneumatic」は「空気の」という意味で、「caisson」は「函(はこ)」を意味している。函(躯体)の最下部の作業室と称する密閉された部屋に高圧の空気を送り、地下水の浸入を防ぎ地上と同じような状態で掘削を行い函(躯体)を沈設する工法である\*1。地上で1、2ロットを構築し1、2ロットの沈下掘削後、3ロットの築造を行う。この沈下掘削と築造を繰り返しながら施工する。このため、沈下掘削にあたっては、沈下力と沈下抵抗力（地耐力や周面摩擦力等）とのバランスをとることが重要となる。

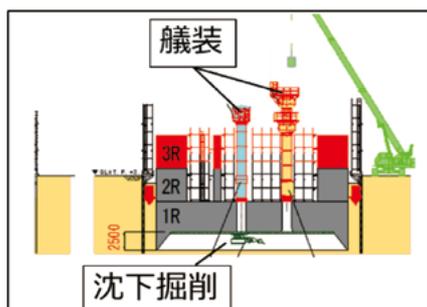


図4 施工概要図



図5 現場写真

## 2. トラブル概要

### 2.1 トラブル発生時の状況

トラブルが発生したのは作業を行っていない土曜日の早朝である。3 ロット目のコンクリート打設が完了し、沈下掘削を進めていたところ、ケーソンの自然沈下が発生した。

施工計画書では、掘削沈下中の施工管理基準値として傾斜量を 500 mmと定めていたが、この自然沈下に伴い、B 地点とD 地点（図 6 参照）で最大 1278 mmの傾斜が発生した。

また、トラブル発生時点でケーソン刃先が位置していたのは、中層混合改良地盤と現地盤の層境であった。この中層混合改良は、ケーソンの初期構築時、具体的には 1、2 ロット構築時の地耐力確保を目的として実施したものである。



図 6 躯体傾斜の様子

(※図中の A、B、C、D の 4 点は他図と対応)

### 2.2 応急処置

4 点のうちD 点が前述の改良体箇所（図 7 ピンク色のハッチング箇所）を突き抜けていたことから、更なる過沈下を防ぐため、サンドル設置等の応急措置を実施した。

このサンドルは木製で、函内の天井と堀残しラインとの間でクッションの役割を果たしており、躯体の沈下とともにサンドル自体がつぶれていくことで、過沈下を防ぐことができる。

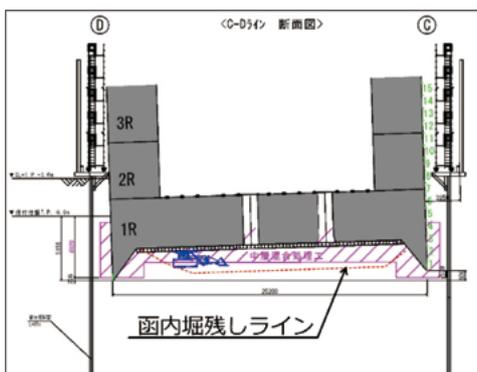


図 7 改良体範囲



図 8 サンドル設置状況

### 3. トラブルの発生原因

#### 3.1 原因究明のための調査

本工事の施工にあたっては、設計時点でボーリング調査（図9 SNo.2地点）、着手時点で受注者による土質調査（同図 No.1地点）を実施しており、調査結果を基に施工計画を立案していた。しかしながら、No.1の調査当時は、従前工事が施工中であり、ケーソン南側での調査が実施できていなかった。今回の傾斜発生を受け、ケーソンの4隅（同図 A、B、C、D点）で追加土質調査を実施することとした。

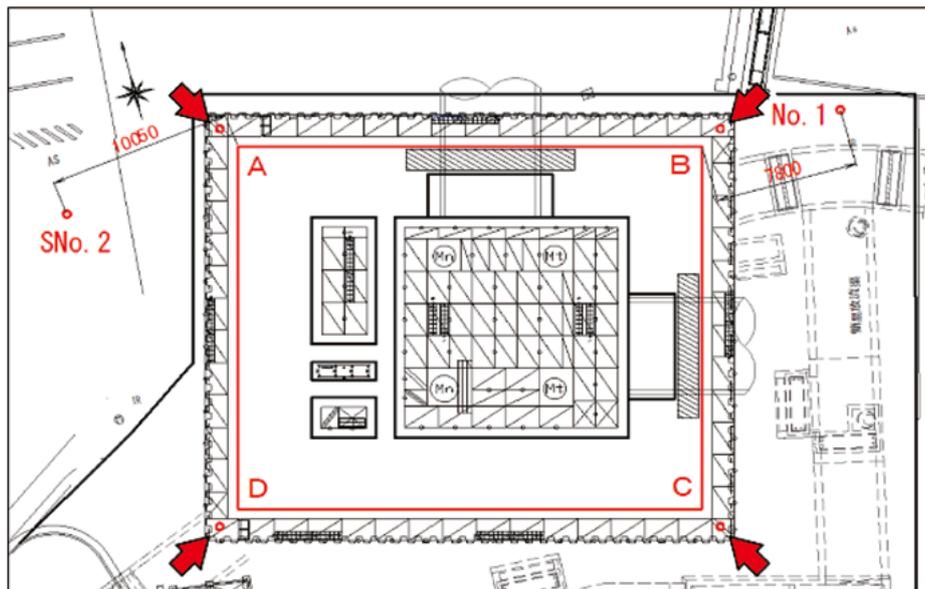


図9 土質調査箇所図

#### 3.2 原因の分析

##### 3.2.1 調査の結果

追加土質調査の結果、下記①から④の4点が判明した。

- ①層境深さは地点により差異あり
- ②N値が10以上となる層の深さに差異あり
- ③N値50以上の深度が南北で1m差異あり
- ④刃先付近のシルト層は鋭敏比が非常に高い

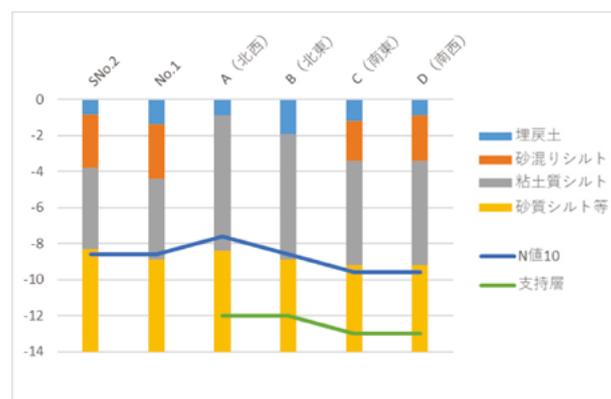


図10 土壌調査結果

### 3.2.2 ケーソン沈下に与えた影響

今回の傾斜発生においては、前述の調査結果の中でも④による影響が特に大きいと考えられた。

通常、粘性土やシルトの鋭敏比は 2 から 4 程度だが、今回採取した試料は、20 から 26 であった。ケーソン刃先付近の土砂は常にケーソン内側に強制的に移動されることから、この範囲の土砂は、移動に伴い乱された状態となっていたと考えられる。土砂が乱されたことに伴い、鋭敏比の高いこの地盤の強度は急激に低下し、今回の傾斜が発生した。

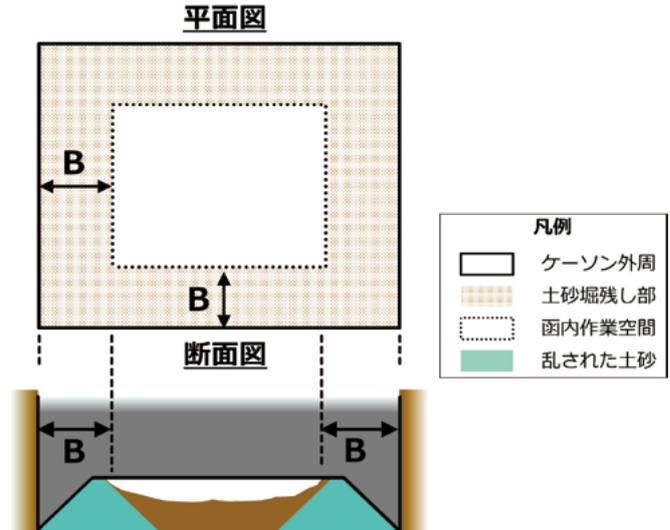


図 11 ケーソン刃先によって乱された土砂

このように、今回の傾斜は、事前のボーリング調査結果だけでは評価できない地盤の乱れに起因して発生したと判断した。

## 4. 対策の実施

### 4.1 地盤改良

掘削沈下による傾斜修正を行うにあたり、地耐力を確保するため、高圧噴射攪拌工法による地盤改良を実施した。改良強度は最低保証強度の 1MN/m<sup>2</sup>、粘着力は 300kN/m<sup>2</sup> とした。

また、改良高さについては A、B 地点側を 6.8m とした。C、D 地点側は支持地盤の深さが A、B 地点側よりも 1m 深かったため、1m 深い 7.8m の改良高さとした。

なお、この際の改良範囲は、下記①から③の 3 つの条件により決定しており、安全率及び開口率については「大型ケーソン設計マニュアル」に準拠した。

- ① 3 ロット掘削沈下時の安全率 : 1
- ② 4 ロット打設時安全率 : 1.5
- ③ 掘削沈下中の開口率 : 50% を確保

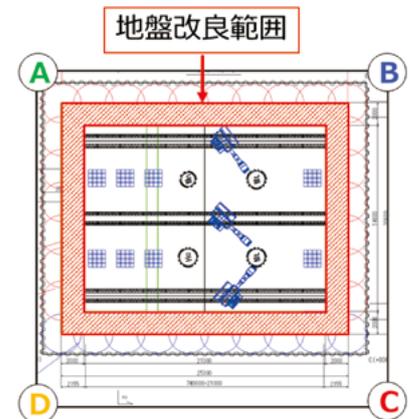


図 12 地盤改良範囲

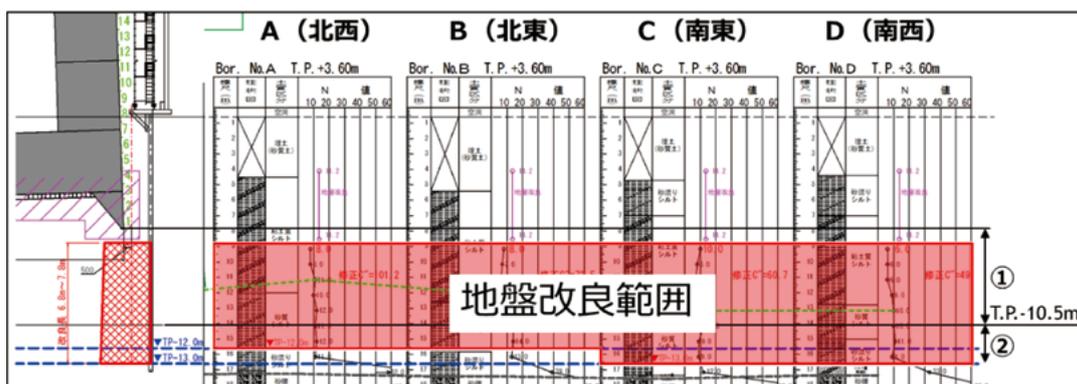


図 13 地盤改良範囲（断面）

## 4.2 掘削による傾斜修正

傾斜修正に向けた沈下掘削の実施に当たり、予期せぬ急沈の防止対策として、予め掘削範囲や手順を定めた掘削ステップ図(全6ステップ)を作成したうえで、作業を実施した。

### 4.2.1 掘削ステップ

#### (1) ステップ1 土砂搬出空間の確保

土砂の搬出空間を確保するために、マテリアルロック周辺を掘削した。なお、掘削は最低限のみとした。

#### (2) ステップ2 サンドルの交換

サンドル周辺の掘削及びサンドルの交換を実施した。この時点では、堀残し部(刃先周辺部分)の掘削は行わなかった。堀残し部の掘削は沈下につながるためである。

サンドルの交換は人力で施工する必要があるため、交換のタイミングを明確化することで、作業員の安全対策についても十分留意した。

#### (3) ステップ3

##### 土砂搬出空間の確保(本掘削用)

中心部の掘削を実施した。これは、ステップ4以降の本掘削用の土砂搬出空間を確保するための掘削である。

#### (4) ステップ4

##### 傾斜修正に向けた掘削①

傾斜修正に向けた掘削を開始した。B、C地点側の堀残し部を掘削し、最も高いB地点を沈下させていった。

なお、傾斜修正掘削の開始までに、施工済みの地盤改良について、所定の強度が発現していることを確認した。

#### (5) ステップ5 傾斜修正に向けた掘削②

A、D地点側の中心部を掘削した。また、掘削の前後で作業空間確保のためにサンドルを撤去、再設置した。

#### (6) ステップ6 傾斜修正に向けた掘削③

A、D地点側の堀残し部を掘削し、B地点を中心位置として、躯体を均一に沈下させていった。

ステップ6以降は、高止まりしている側の堀残し部を掘削しながら傾斜修正を行った。

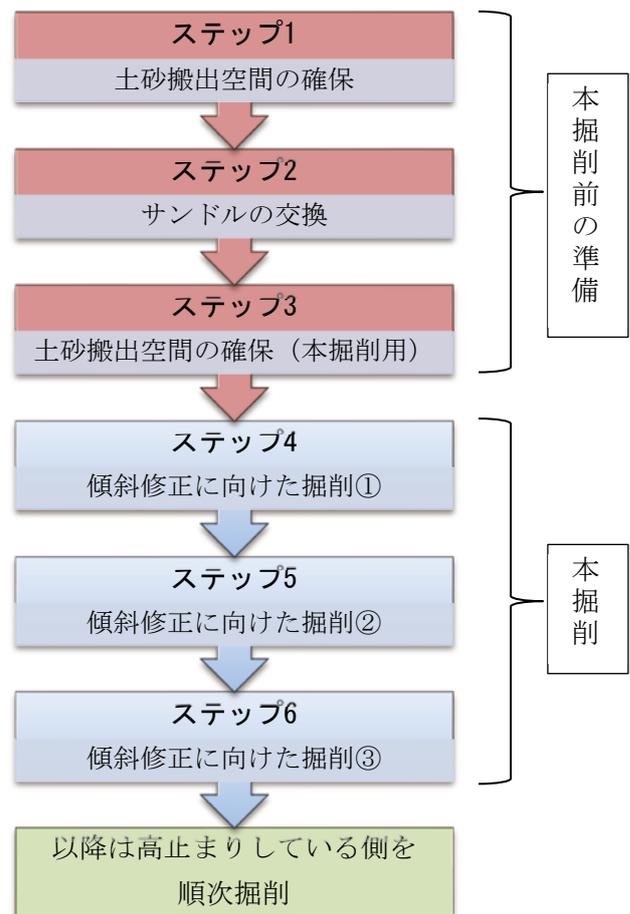


図14 掘削ステップ フロー図

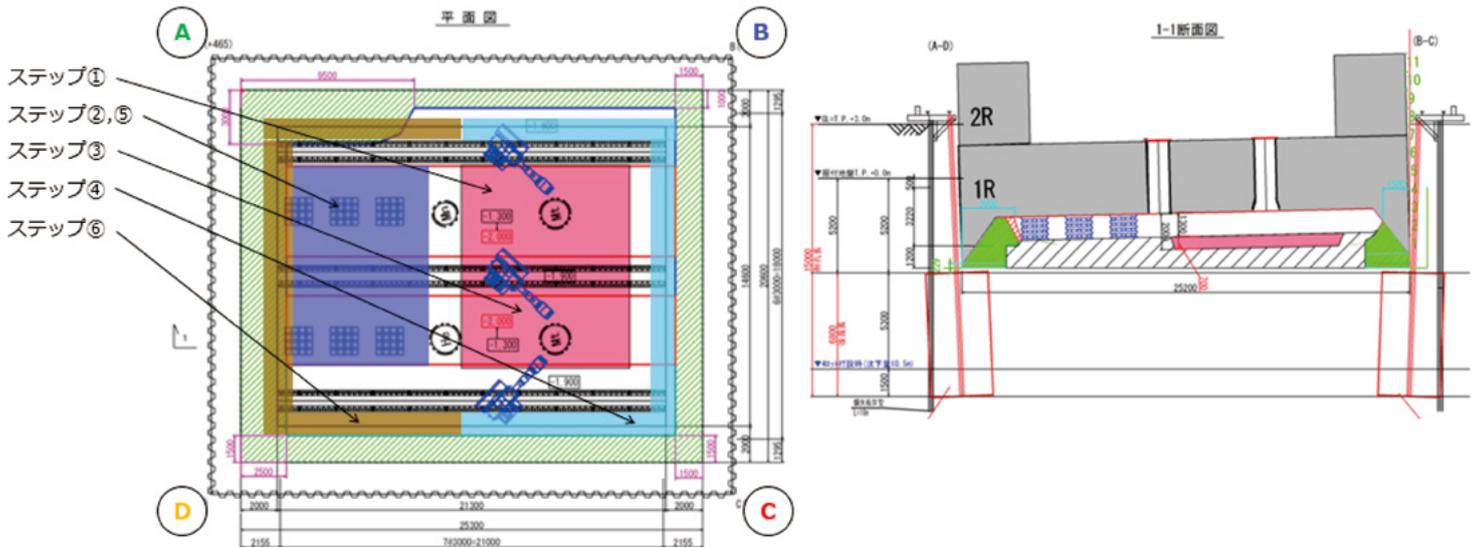


図 15 掘削範囲

#### 4.2.2 刃先の推移

施工にあたっては、日々、受注者から傾斜残量や翌日の作業内容について逐一報告を受け、傾斜修正完了までの施工状況を密に共有しながら施工を行った。

図 16 に示すとおり、傾斜修正開始前(施工ステップ④の実施前)である令和 2 年 12 月 7 日以前は、各刃先深度が動いておらず、施工ステップ①から③における沈下のコントロールが成功していることが分かる。

2 月 11 日時点で刃先の相対変位がほぼ 0 となり、傾斜修正が完了した。

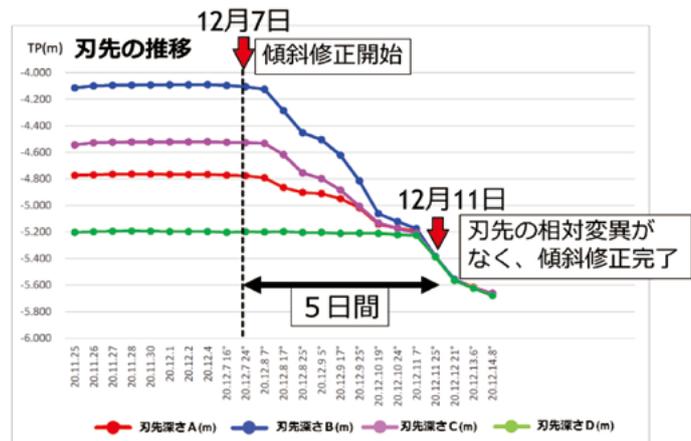


図 16 刃先の推移

### 5 おわりに

今回のトラブルを乗り越えられたのは、事象の発生時点から受発注者間の相互連携を高め情報共有化を密に図るとともに、応急対応、調査、対策検討等の実施に必要な意思決定を迅速かつ的確に進める、といった信頼関係を築き協力態勢を強化したことが一番の要因であると言える。

今回の経験を通じて利害関係者とのコンプライアンス遵守を意識しながらも、常日頃から受注者とのコミュニケーション（電話でもメールでも対面でも）をしっかりと交わし、互いのできることや長所、短所を補いながら、より良いものを作り上げていく、という目的を共有することが、トラブル対応に限らずより良い成果・工事目的の達成には必要不可欠であると感じた。

今回のトラブル発生から安全施工方法確立までの一連の検討内容が、今後の同種工法の

発展の一助となれば幸いである。

・参考文献

※1 日本圧気技術協会 HP <http://www.pneumatic.gr.jp/pneumaticmethod/summary/>