

2-1-2 ケーソンの地中連結工事について

～王子第二ポンプ所建設その4工事～

第一基幹施設再構築事務所 工事第二課 梶平 知弥
西川 勝久

1 はじめに

1.1 事業概要

王子第二ポンプ所は、東京都北区堀船地域に位置し、既設の王子ポンプ所を補完する施設として建設中である。本ポンプ所完成時には、北区東十条、王子、豊島及び堀船地区の一部流域の雨水を隅田川へ放流するとともに、合流式下水道改善施設として雨水貯留池を併設しており、初期汚濁負荷量の削減を行うことも目的としている。

図1に王子ポンプ所流域図、図2に王子ポンプ所・王子第二ポンプ所流域図を示す。



図1 王子ポンプ所流域図
(現状)



図2 王子・王子第二ポンプ所流域図
(計画)

1.2 工事概要

本工事は、大深度かつ大型のニューマチックケーソンを2函体沈設した継続工事として、離隔約2mのケーソン連結部の築造を行うものである。

図3に施工中の写真、図4に王子第二ポンプ所の平面図、図5に断面図を示す。

ケーソン連結部の築造にあたり、本ポンプ所と同等の規模や深度での施工事例は極めて少なく、安全かつ高品質の施工を実現するため、ケーソン連結部の止水方法、狭隘空間での施工手順、石神井川護岸や首都高速道路橋脚への影響など、技術的課題への対策が重要であった。

このことから、第一基幹施設再構築事務所長を委員長とした「王子第二ポンプ所の大型ケーソンにおける地中連結に対する施工検討委員会」(以下「施工検討委員会」という)を設置し、安全かつ高品質の施工を実現するため、技術的課題に対する検討を行った。



図3 施工状況(全景)



図4 平面図

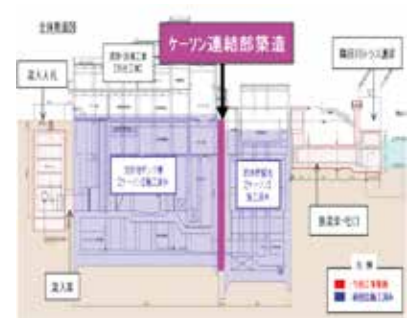


図5 断面図

2 ケーソン連結部の築造に伴う技術的課題

ケーソン連結部の築造に伴う技術的課題を以下に示す。

2.1 ケーソン沈設に伴う地盤の緩み等による未改良範囲からの出水

ニューマチックケーソン工法は、地上で築造した構造物を掘削により順次地中に沈設していくものであるが、その沈設に伴う周辺地盤の引き込みや緩み等が懸念された。

このため、側部・底部の止水性を確保するためには、正確な土質条件を把握する必要があったため、ケーソン沈設後に追加のボーリング調査を実施した（図 6 参照）。

追加ボーリング結果より、沈設による大きな土層変状等は確認されなかったが、N 値分布図より地盤の緩み等が発生したことが判明した（図 7 参照）。

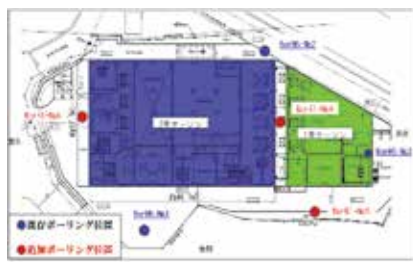


図 6 ボーリング箇所図

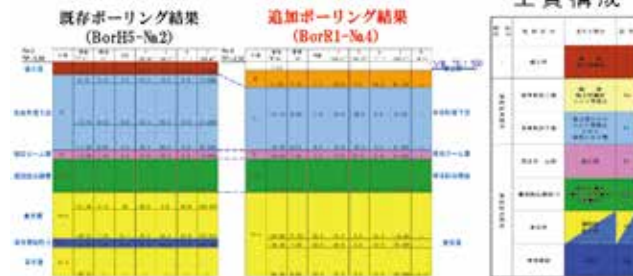


図 7 ボーリングデータ（地質想定図）

また、ケーソンの沈設状況について調査した結果、1号ケーソンと2号ケーソンの最大離隔は、設計 2,000 mm に対し北側刃口部で 2,195 mm と 195 mm 大きく、南側刃口では 1,971 mm と 29 mm 小さいことから、当初設計における 1,000 mm のラップ長は、多くの箇所では確保できないことが判明した（図 8, 図 9 参照）。

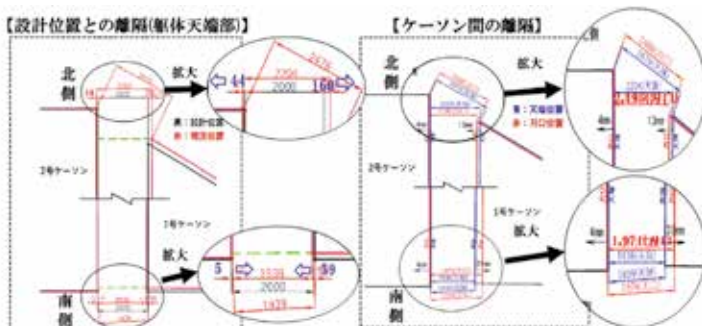


図 8 ケーソン平面位置調査結果

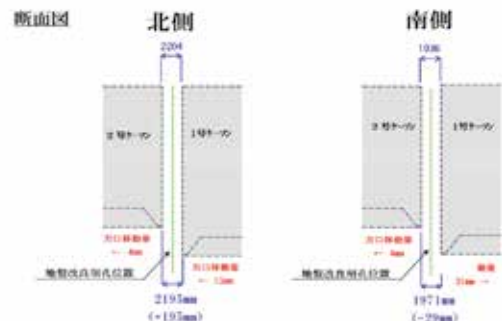


図 9 ケーソン間鉛直精度調査結果

この平面及び深度方向のズレにより、底部の地盤改良とケーソンとのラップ長が確保できず、大深度の高圧水であることから、連結部の掘削時における地下水の出水が懸念された。

このため、底部の地盤改良とケーソンとのラップ長を確保する改良径及び配置間隔について再検討を行った（図 10, 図 11 参照）。



図 10 ケーソン平面位のズレ

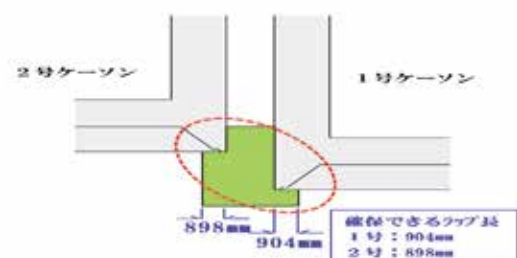


図 11 ケーソン間の鉛直精度のズレ

2.2 側部改良体施工に伴う石神井川護岸への影響及び品質低下

ケーソン躯体と石神井川護岸の現況位置を調査した結果、側部の地盤改良工範囲が、石神井川護岸及びその杭基礎と近接していることが判明した。その他の箇所においても地盤改良とのクリアランスが200mm以下であったため、当初設計の側部地盤改良径 ϕ 5.5mの施工では、石神井川護岸への影響が懸念された。

また、当初設計の改良径 ϕ 5.5m、改良長36.85mの改良体では、1本あたりの施工日数が3日もかかることから、改良体の水平打継による品質低下も懸念された（図12参照）。

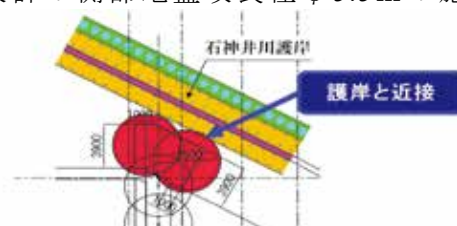


図12 石神井川護岸との近接状況

2.3 ケーソン連結部の掘削に伴う微小変位発生による地下水の出水

ケーソン連結部の掘削に伴い地盤改良体とケーソン刃口部に微小変位が発生し、その微小変位の隙間から地下水の出水が懸念された。

このため、2次元FEM解析による掘削時のケーソン躯体変位量を算出した結果、既設ケーソン上部では最大3.23mm、下部では最大0.50mm変位することを確認した（図13参照）。

この躯体変位量に基づき、地盤改良体部に発生する可能性がある微小変位量について解析を行った結果、1号ケーソン側では最大0.05mm、最小0.01mm、2号ケーソン側では最大0.44mm、最小0.39mmの微小変位が発生することが判明した（図14参照）。

これらの微小変位が発生した場合、大深度の高水圧下では、地盤改良体とケーソン躯体間からの出水の原因となる恐れがある。

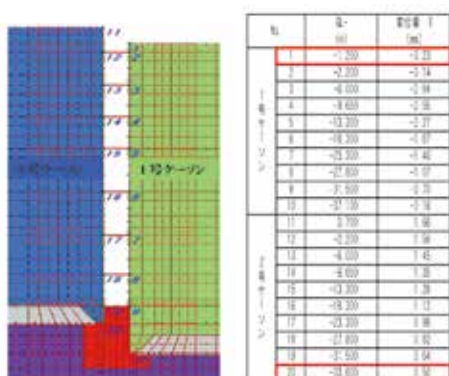


図13 掘削時のケーソン躯体変位量

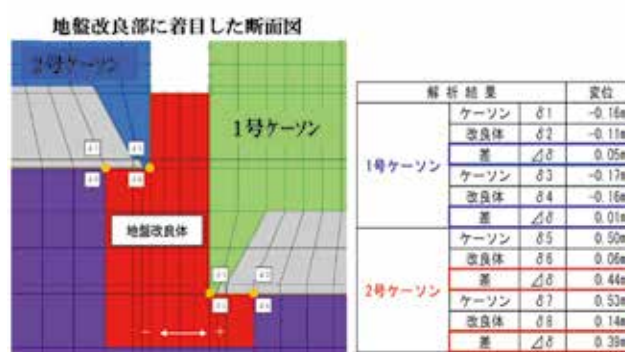


図14 地盤改良体部の微小変位量

3 技術的課題への対策

前述の技術的課題に対する対策を以下に示す。

3.1 ケーソン沈設に伴う地盤の緩み等による未改良範囲からの出水対策

底部の地盤改良とケーソンとのラップ長を確保する改良径及び配置間隔について再検討の結果、当初設計の直径 ϕ 5.5mの全円形、配置間隔3.75mの施工を、直径 ϕ 5.5mの全円形、配置間隔を4.00mと広くした。その上で各間の中央部に扇型の改良体を造成することでL=1.50mのラップ長を確保するとともに、配置間隔の密集を避けることで、コラムインコラムの発生を防止した。

また、底部改良体の端部を半円形とすることで、側部改良体への噴射を避け、側部改良体に対するコラムインコラムも防止した（図 15 参照）。

3.2 側部改良体施工に伴う石神井川護岸への影響防止及び品質低下対策

側部の改良体の改良径及び配置間隔について再検討した結果、石神井川護岸への影響防止として、改良径をφ5.5mからφ3.6mに縮径することで、噴射圧力等による影響を抑えた。

また、改良径を縮径することで、1本あたりの施工日数も1日以内に完了することから、改良体の水平打継も発生せず、品質上も優れた施工が可能である。

なお、側部改良体施工に伴う吐出の流線を石神井川護岸側へ噴射しないよう、近接箇所は半円形の形状とし、側部改良体端部へ補助的な薬液注入工を施工した（図 16 参照）。

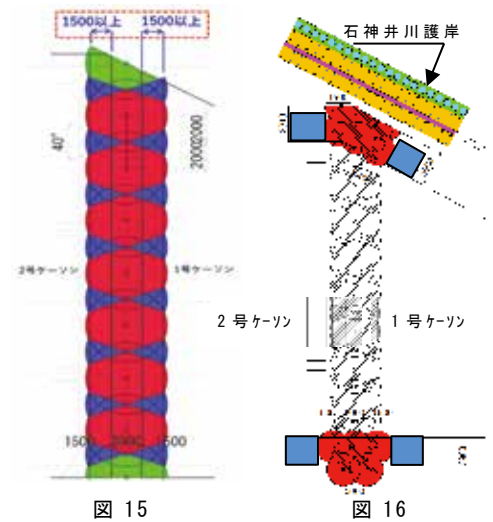


図 15 底部地盤改良平面図 図 16 側部地盤改良平面図

3.3 ケーソン連結部の掘削に伴う微小変位発生による地下水の出水対策

ケーソン連結部の掘削に伴う微小変位発生による地下水の出水対策として、底部改良体の側部に薬液注入を行った。

また、薬液注入の施工は、ケーソン連結間の底部改良体を損傷させないため、各ケーソン内の底版上からボーリングマシンによる注入を行った。

なお、薬液注入の配置等は、ラップ長 3.0m、注入深さ 3.0mとし、1号ケーソン側で 87 箇所、2号ケーソン側で 96 箇所施工した（図 17, 図 18 参照）。

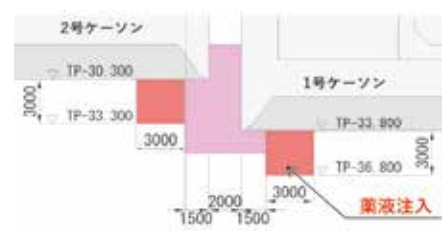


図 17 底部薬液注入断面図

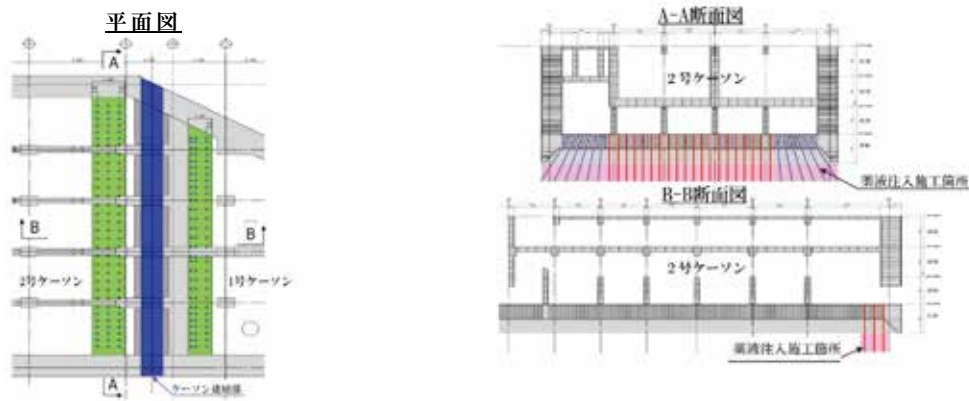


図 18 底部薬液注入位置図

4 ケーソン連結部の施工

ケーソン連結部の掘削中に地下水が出水した場合、大深度の高圧水下で止水することは極めて困難であるため、緊急的対策としてケーソン連結部へ注水し、周辺地盤の安定を図る対応策を事前に準備した。注水する水を確保するため、事前に河川管理者と協議を行い、石神井川からの注水について許可を得るとともに、緊急注水用ポンプを配備した。

また、ケーソン連結部の掘削後に躯体築造を実施するが、躯体完成には長期の施工期間を要するため、改良体の劣化等による出水も懸念された。このため、下部躯体より順次築造する当初の計画から側壁躯体を先行して築造する施工順序に変更することで出水リスクを最小限に抑えた（図 19,20,21 参照）。



図 19 掘削状況（上部から） 図 20 掘削状況（側部） 図 21 掘削状況（底盤部）

なお、掘削作業から側壁躯体構築完了までの期間は、ケーソン間の離隔、地盤高、地下水位等を日々測定し、施工状況をリアルタイムかつ綿密に管理した。

また、掘削に伴うケーソン躯体の変位や護岸への影響についても、測量による計測管理を行った（図 22,図 23 参照）。

その結果、ケーソン躯体の変位量や微小変位等についても許容変位量内での施工を行うことができ、懸念された地下水の出水も無く、無事、ケーソン連結部の築造を完成することができた。



図 22 ケーソン連結部掘削作業日報

図 23 ケーソン間の離隔 測定状況

5 おわりに

本工事は、施工検討委員会の検討結果を踏まえ、ケーソン連結部の施工に関することや万が一の事故や施工トラブル、その予兆が確認された場合の技術的課題を入念に確認しながら施工を進めた結果、懸念された地下水の出水も無く、無事、ケーソン連結部の築造を完成することができた。

このような、大深度の高圧水下による施工条件では、工事の難易度も高く事故や施工トラブルの発生確率も高くなり、その技術的課題に対しては、高度な対応力や技術力が求められていることから、東京都下水道局の今後の事業推進にあたって、本工事の事例が参考の一つとなれば幸いである。