

雨水南幹線シールド発進立坑（いろは呑^{どんりゅう}龍トンネル）について～浸水から街を守る～

正木 利一

京都府流域下水道事務所 施設整備室 (〒617-0836京都府長岡京市勝童寺樋ノ口1)

京都市、向日市、長岡京市にまたがる桂川右岸地域は、幾度となく浸水被害が発生しているが、河川や水路周辺に人家が密集しており、さらに鉄道橋や道路橋などが架かっているため、河川の拡幅が困難である。そのため、京都府が地下に雨水貯留管を設置し、浸水対策に取り組んでいるところであり、今回報告する工事は、その最下流の雨水南幹線のシールド発進立坑である。雨水南幹線シールド発進立坑は、地上から地下約35mまで掘進する工事であり、硬質地盤や高い水圧に対応するため、多くの技術を活用し、コスト縮減と工期短縮を図りながら工事を施工したので、その内容について報告するものである。

キーワード 浸水対策, オープンケーソン工法, 立坑, コスト削減, 地下水

1. はじめに

京都市、向日市、長岡京市にまたがる桂川右岸地域は、784年に桓武天皇が長岡京を造営した歴史的な地域であるが、わずか10年で平安京に遷都となった一因ともいわれるように、度重なる浸水被害に悩まされた地域である。

近年は、ＪＲ東海道本線や阪急京都線及び国道171号などの交通網の発達により、急激に都市化が進み、多くの雨水が河川や水路に流れ込むようになり、大雨のたびに浸水被害が発生していた。そこで、京都府は、1995年度から浸水対策事業として「いろは呑龍トンネル」を整備している。

「いろは呑龍トンネル」は、全体延長約9.2km、対策量24万m³の地下トンネルであり、雨水が流入して増水した雨水排水路から水をトンネル内に取り込んで一時的に貯留し、河川や水路の水位が下がってから排水を行い、浸水被害を軽減している。なお、全体計画完成時には、流下させる機能も有している。この「いろは呑龍トンネル」の全体計画の内、2001年6月に上流部の雨水北幹線第1号管渠を供用開始し、2011年10月に雨水北幹線第2号及び第3号管渠を供用開始したので、現在、合計約10万7千m³の雨水を貯留することができる。

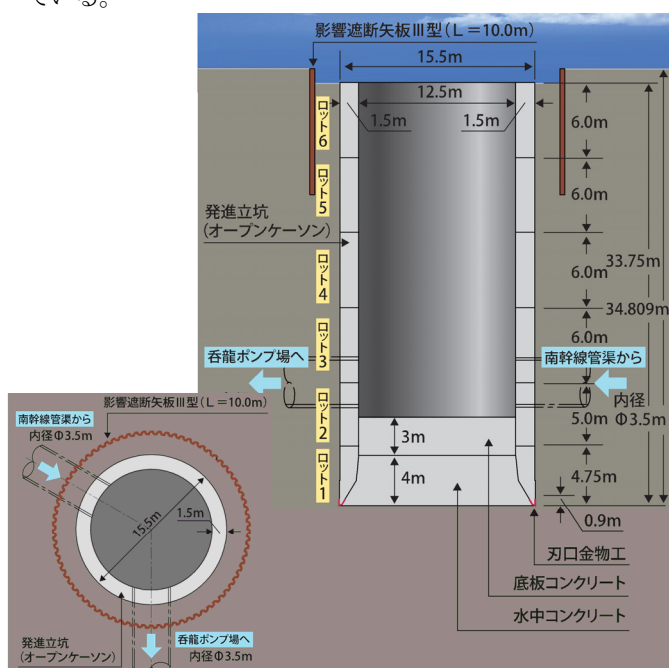
2013年台風第18号及び2014年台風第11号では、いろは呑龍トンネルが満管となるまで貯留し、浸水被害の軽減に大きな効果を発揮した。

今回、雨水北幹線に続く雨水南幹線（内径3.5m、延長4,260m）のシールド発進立坑工事を2014年から着手し、2015年に完成したので概要について報告する。

2. 雨水南幹線シールド発進立坑の概要

今回報告する雨水南幹線シールド発進立坑は、雨水南幹線を掘進するシールドマシンが発進する立坑である。

発進立坑は、京都府の洛西浄化センター内に設置し、工事費が約5.7億円で、内径12.5m、深さ34.8mのオープンケーソン工法で施工する。地下約35mまで掘削し、コンクリート構造物を構築する工事であり、地盤が硬く、水圧も高いことから、様々な工法、技術を用いて施工している。



図一1 雨水南幹線発進立坑の概要

3. 施工の流れ

(1) 施工前

今回施工する発進立坑は、「いろは呑龍トンネル」の最下流に位置する京都府洛西浄化センター内に施工する。

シールドマシンを発進し、雨水南幹線が完成すれば、この発進立坑を呑龍ポンプ場の一部として利用する。



写真-1 発進立坑の施工場所

(2) 刃口金物据付及び影響遮断矢板

発進立坑を深さ34.8mまで掘削するための刃口金物（カッターのような金物）を設置する。刃口金物の周囲には、圧入沈下させるために使用するアースアンカー（深さ48.5m、定着長14m、12本）を施工する。

また洛西浄化センターの水処理施設が近接しており、施設への影響を防ぐため、影響遮断矢板を打設する。



写真-2 刃口金物据付

(3) 足場・型枠組立

刃口金物の上に鉄筋コンクリートを打設するため、作業足場及び型枠を設置する。



写真-3 足場・型枠組立

(4) 鉄筋組立

設置した型枠内部に鉄筋を配筋する。なお、シールドマシンが発進し開口する部分には、鉄筋の代わりに鉄筋と同じ形状の炭素繊維を設置する。



写真-4 鉄筋組立

(5) コンクリート打設

型枠内部に鉄筋を配筋した後、コンクリートを打設する。コンクリートの打設は、ロッド内に目地ができないように1日で、1ロッド約400m³を打設する。



写真-5 コンクリート打設

(6) 掘削・沈下

打設した円筒形のコンクリート（ケーソン）の上部に圧入ジャッキを12箇所設置し、圧入ジャッキにより、圧入沈下させると同時にクラムシェルでケーソン内を掘削する。ケーソン内を掘削すると地下水が出るが、排水せず、そのまま掘削する。

（沈下速度は、平均約40cm／日）



写真-6 掘削・沈下

(7) 壁面清掃

(3)～(6)を6回繰り返し、6ロッド沈下させた後、ケーソン内部に水中コンクリートを打設する。水中コンクリートの施工後、内部の水を排水しながら、壁面を清掃し、壁に付着した泥等を落とす。壁面清掃は、ケーソン内部の排水による水位低下を利用し、フロート（いかだ）を浮かべて実施する。



写真-7 壁面清掃

(8) 完成

ケーソン内部の排水及び壁面清掃の完了後、底板コンクリートを施工し、発進立坑が完成する。

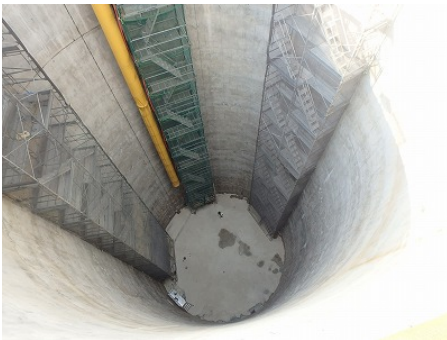


写真-8 発進立坑（完成）

4. 現場のポイントと使用した工法・特徴

(1) オープンケーソン工法

地下約35mまでコンクリート構造物を構築するので、水圧や土圧の影響が大きく、本来なら大規模な土留等の仮設構造物が必要である。そこで、今回は、ロッドごとに地上でケーソンを構築し、荷重を载荷しながら地中にケーソンを沈下させ、所定の深さに達した後、中詰めコンクリートを打設する大規模な仮設構造物が不要なオープンケーソン工法で施工した。オープンケーソン工法でケーソン内部を掘削すると地下水が出てくるが、地下水を排水せずそのままの状態掘削することで、ボーリング、ヒービング、盤ぶくれ等の発生を抑制した。

その結果、硬い地盤と高い水圧であったが、オープンケーソン工法により大規模な土留等の仮設構造物を施工せずに、ケーソンを沈下することができた。



写真-9 オープンケーソン工法

(2) 影響遮断矢板

掘削箇所が洛西浄化センターの水処理施設に近接しており、水処理施設が沈下、傾斜すれば、適切な下水道処理ができなくなる可能性がある。そこで、影響遮断矢板（深さ10m）をケーソン周囲に設置し、周辺構造物への影響の軽減を図った。工事完了後、周辺地盤変状を把握するために設置した沈下計及び傾斜計で、周辺への影響がないことを確認できた。

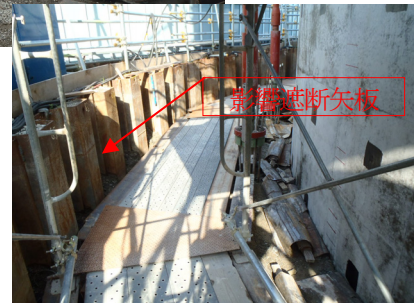


写真-10 影響遮断矢板

(3) ケーソン沈下管理システムによる情報の一元管理

今回の施工現場である洛西浄化センターは桂川に隣接しており、粘土層などの軟弱地盤があり、さらに施工深度が地下約35mと深いことから、N値5～60と幅広い土

質が分布している状況で、ケーソンを傾けず沈下させる必要がある。そこで、自動追尾トータルステーションやジャッキ圧力計などで取得したデータをリアルタイムにまとめ、ケーソン沈下管理システムで情報を一元管理する。そのデータを瞬時にケーソン姿勢制御として活用することで、沈設精度の向上を図る。

その結果、軟弱地盤や地盤の変化による不等沈下を防ぎ、ケーソンを傾けず沈下することができた。

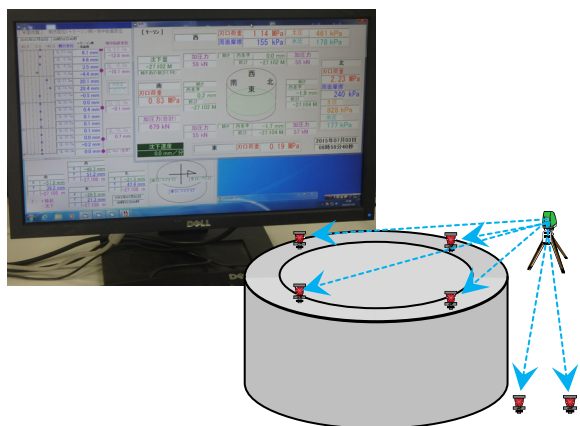


図-2 ケーソン沈下管理システム

(4) 特殊突矢及び高性能滑材による沈下促進

地下17m以深からN値60程度の硬い砂礫層となることから、ケーソンの沈下が難しく、沈下が困難となる可能性がある。そこで、湾曲した形状の鋼材先端に幅広鋼を添付した突矢で硬い地盤をほぐす特殊突矢を使用した。

さらにケーソン躯体と接している地盤との周面摩擦力を低減するため、高性能の滑材を投入した。その結果、N値60程度の硬質地盤であったが、沈下速度約0.4m/日と普通地盤（N値10程度で約0.4m/日～0.5m/日）と同程度の沈下ができた。



写真-11 特殊突矢



写真-12 高性能滑材

(5) パイプクーリングによるコンクリート水和熱の低減

本ケーソンと躯体コンクリート（厚さ1.5m）は、マスコンクリート（厚さ80cm以上）であり、水和熱（セメントと水が反応して凝固硬化する時に発生する熱）により温度が高くなり、温度ひび割れの発生が懸念される。そこで、鉄筋配筋時にあらかじめ設置した鋼管（内径25mm）に冷却水（約17度）を流すことで水和熱の低減を図るパイプクーリング工法を使用する。無対策の場合、解析で最高温度約85度のところ、パイプクーリングにより平均約60度となり、その結果、温度ひび割れの発生を抑制することができた。

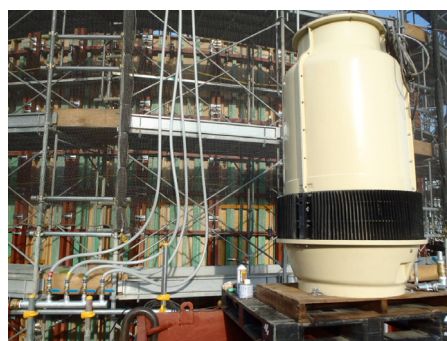


写真-13 パイプクーリング

(6) コンクリート打設管理システムの導入

ケーソンのロッド内に打継目を設置することができないので、1ロッド約400m³を連続して1日で打設する必要がある。そこで、生コン工場、現場事務所、打設現場をネットワーク化し、PCやタブレットで一元管理した情報をリアルタイムに関係者で共有するコンクリート打設管理システムを導入する。これにより、コンクリートポンプ車の位置、運搬時間、搬入及び打設の時間、台数等をリアルタイムに管理し、情報共有することでコンクリートポンプ車や打設の待ち時間等のロスタイムを減らすことができる。その結果、1ロッド約400m³（生コン車

96台/日)を1日で打設することができ、コールドジョイント等の発生がないコンクリート構造物とすることができた。

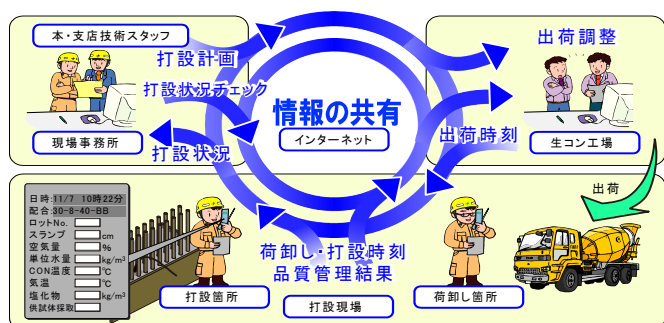


図-3 コンクリート打設管理システム

(7) 特殊止水材の設置と止水対策

高い水圧（地下約35m）により、ロッド間やロッドと底板コンクリートの間等から漏水する可能性がある。

そこで、一つ目の対策として、ケーソン駆体の各ロッド間に標準で設置する塩ビ止水板に加えて、膨張する止水材であるポリニットロープを設置する。ポリニットロープは、コンクリート中の水分により、膨張し、コンクリート表面の凹凸になじみ、パッキン効果で止水効果を向上させる。またポリニットロープの網目から出るベントナイトにより、みず道が出来ても目詰まり効果で塞ぐことができる。

二つ目の対策として、第1ロッドの刃口金物部に磁力によって固定する磁着式止水材を設置する。この止水材は、水に触れると膨張し、刃口金物部と底板コンクリートの間からの漏水を防ぐ。

三つ目の対策として、コンクリートのロッドの継目及びセバ穴にガスファルト（ゴムアスファルト系塗膜防水剤）を塗布し、漏水を防ぐ。

このように高い水圧に対して、様々な止水対策を施工した結果、漏水を抑制することができた。

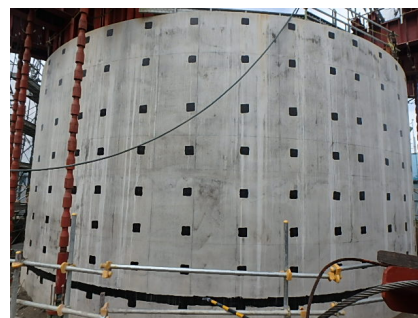


写真-15 ガスファルト施工後

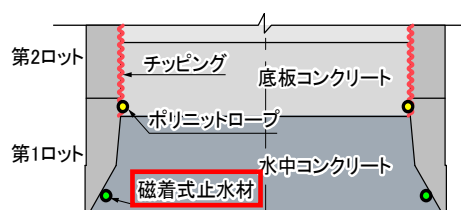


図-4 磁着式止水材

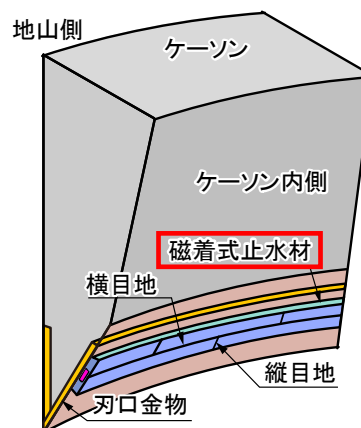


図-5 磁着式止水材（拡大）

5. コスト縮減効果

地下約35mまでコンクリート構造物を構築する工事であり、水圧や土圧の影響が大きく、大規模な土留等の仮設構造物が必要であったが、大規模な仮設を必要としないオープンケーソン工法を標準として、総合評価競争入札を実施した。

オープンケーソン工法と総合評価競争入札による技術提案の相性が非常によく、硬い地盤と高い水圧であったが、使用した工法・技術により、容易にケーソンを沈下することができたので、工期に余裕を持って工事が完成した。

総合評価競争入札の提案で、工期より早く完成すると想定し、損料などをコスト縮減の上、応札があり、その結果、コスト縮減として約2億円の効果があつた。



写真-14 ポリニットロープ施工状況

6. おわりに

雨水南幹線シールド発進立坑は、地下約35mまで掘削する工事であり、硬質地盤や水圧に対応するため、多くの技術を活用し、問題なく工事が完成したところである。

現在、雨水南幹線管渠を今回の発進立坑からシールドマシンにより掘削しているところであり、2021年の供用開始を目指している。

近年になって、ゲリラ豪雨、スーパー台風、線状降水帯のように局地化・集中化・激甚化する豪雨が増えており、さらに毎年のように「観測史上最大の雨量」、「過去最大の時間雨量」と報道されている。計画規模を超えるような雨量に対応するのは、困難であり、府民の防災意識の向上や自助・共助による減災がますます重要となっている。

府民の防災意識の向上等のため、浸水対策事業の効果をPRし、さらに施設の限界を知っていただくことが必要であるが、「いろは呑龍トンネル」は、地下にあるので、普段、目で見ることができない。そのため、いろは呑龍トンネルのマスコットキャラクター「呑龍太郎」を活用しながら、大人から子供まで楽しく、身近にそして、親しみやすい浸水対策事業のPRや見学会を実施している。この「呑龍太郎」は、2014年全国下水道マスコット総選挙で全国1位となり、さらに下水道展の出展者表彰として、京都府が優秀賞を受賞したところであり、事業のPRや公共事業のイメージアップの取り組みを認められたところである。

今後も府民や来訪者の安心安全のため、浸水対策事業の必要性をPRするとともに、ハード対策とソフト対策を進めていく。

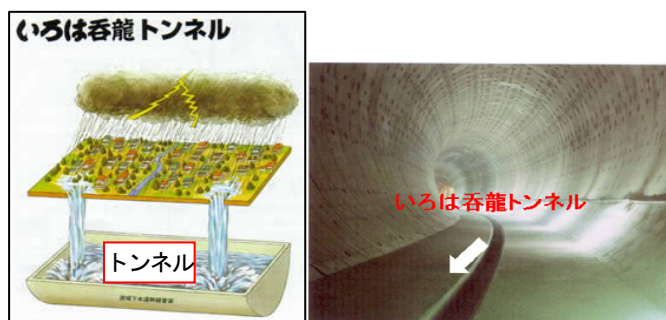


図-6 地下の「いろは呑龍トンネル」



写真-16 今回工事のイメージアップ (呑龍太郎)



図-7 いろは呑龍トンネルマスコットキャラクター (呑龍太郎)



写真-17 呑龍太郎によるPR (下水道展)



【2014年全国下水道マスコット総選挙：全国1位】
【2014年下水道展の出展者表彰：優秀賞】

写真-18 下水道展での表彰式



写真-19 「いろは呑龍トンネル」見学会