

流域下水道雨水貯留管 (いろは呑龍トンネル) について

山之江 亨

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

近年、都市部において雨水貯留管を設置する場合、既設の地下施設などへの影響を避けて大深度設置となり、厳しい条件下での計画や施工を余儀なくされることが多い。

京都府が整備している流域下水道雨水貯留管「いろは呑龍トンネル」においては、用地的制約や高い地下水圧などの厳しい条件への対応として、「ハイブリッド式親子シールド工法（親機：泥土圧式、子機：泥水式）」という特殊なシールド工法、「ガイドウォール式」による大流量の高落差処理、凍土掘削による接続管施工、「スライドビル工法」による地中接合、大口径ボーリング工法の斜施工などの多くの注目すべき技術を用いている。

キーワード 親子シールド工法, 凍結工法, ガイドウォール式, スライドビル工法, TBH工法

1. はじめに

京都市、向日市及び長岡京市またがる桂川右岸流域の雨水対策事業として実施している「いろは呑龍トンネル」は、全体延長約9.2km、対策量約24万m³の地下トンネルである。

これは、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、浸水被害を防ごうというものである。なお、全体計画完成時には、一部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、上流部の北幹線第1号管渠（内径8.5m、延長935m）については、既に2001年6月に供用開始し、約5万4千m³の雨水貯留が可能となっている。北幹線第1号管渠の対象流域では、供用前においては、ほぼ2年に一度の頻度で浸水被害が発生していたが、供用後は、浸水被害もなく、雨水を貯留して効果を発揮し、地域の安全に貢献している。

さらに、これに続く北幹線第2号管渠（内径3.0m、延長2,864m）と北幹線第3号管渠（内径6.1m、延長1,120m）が2011年10月から供用を開始した。

今回、この北幹線第2号・第3号管渠に係る主な土木工事について報告する。

2. 管渠本体¹⁾

(1) ハイブリッド式親子シールド工法 (図-1)

工事コストの低減、工事に伴う交通渋滞の緩和、工期

短縮等の観点から、雨水北幹線第2号・第3号管渠は、異なる管径を一度に施工可能な「親子シールド工法」により施工した。

掘削工法としては、ハイブリッド式親子シールド工法（親機区間：泥土圧式シールド工法、子機区間：泥水式シールド工法）を採用することにより、カッタービットの交換が不要などの利点生まれ、延長4kmにも及ぶ長距離区間を、掘削途中で道路からの作業を行うことなく施工することが可能となった。



図-1 ハイブリッド式親子シールド工法

(2) セグメント (図-2)

セグメントについては、幅1,300mmとして、組立回数の軽減と施工速度の向上を図った。

また、二次覆工省略型トンネルとして、一次覆工(親機区間)は位置決めと同時に締結を完了し、ボルトボックス閉塞作業の必要のない内面平滑の「ワンパスセグメント2」(先付けコッター継手+プッシュグリップ継手)を採用し、施工サイクルの向上を図った。ただし、子機区間についてはセグメントの桁高が小さく(H=200mm)、組立時の継手の拘束によるクラックの発生が懸念されたため、ピース間は通常のボルト継手とした。

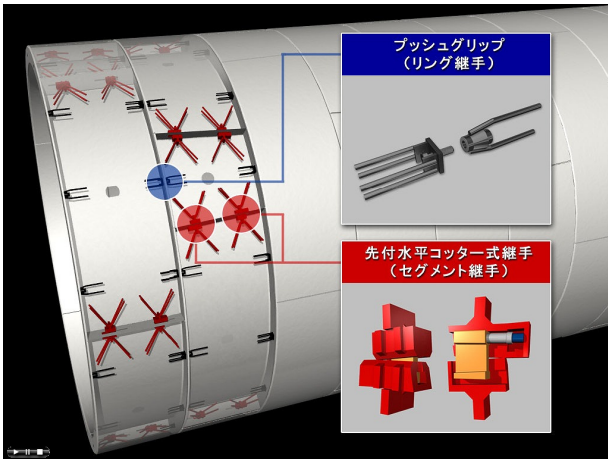


図-2 ワンパスセグメント2

3. 接続施設

接続施設は、関連公共下水道との接続点となる施設であり、水の減勢等を行う高落差処理機能を有する接続人孔(立坑)と接続人孔と貯留管を連絡する接続管により構成される。

今回の工事区間では、北幹線第3号管渠(内径6.1m、延長1,120m)に接続する「石田川接続施設」と「洛西・寺戸-4接続施設」の2箇所の接続施設がある。

(1) 接続人孔

いずれの接続人孔においても、降雨時に大流量の雨水が落差をもって流入することとなるが、用地的な制約条件下における大流量の高落差処理として、「ガイドウォール式」(図-3)を採用している。

ここでは、「洛西・寺戸-4接続施設」の接続人孔を例として詳述する。

大流量の高落差処理方式について、一般的な方式を含めて、表-1に示すような比較検討を行った。そして、狭い空間での適用が可能で、設計条件(用地的制約、流量 21.5m³/s、落差 8m)に対する適用性があり、経済性・維持管理性等の点で有利な「ガイドウォール式」を選定した。

また、模型実験(図-4)により、接続人孔規模、スリット諸元、ステージ部形状、床版への作用圧力等を検証を行うと共に、減勢部での整流不良改善のための補助構造物として、デフレクターと波返し(図-5)を設置した。

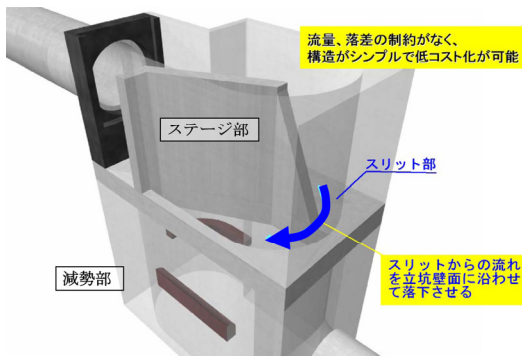


図-3 ガイドウォール式

表-1 高落差処理方式比較

方式	多段自由落下式	らせん案内路式 ドロップシャフト	ガイドウォール式
適用落差	制約なし	4.6m以下	制約なし
適用流量	制約なし	1基あたり1.0m ³ /s以下	制約なし
立坑規模	W7.5m×L21.0m ×	W7.5m×L18.0m △	W7.5m×L18.0m以下 ○
施工性	1段ごとの施工 △	工場二次製品 ○	単純な構造 ○
維持管理	点検補修が容易でない △	維持管理スペースが必要 △	維持管理が容易 ○
騒音・振動	落差が大きい場合は高まる △	小さい ○	比較的小さい △
経済性	1.2 △	1.4 ×	1.0 ○
評価	×	△	○

注：経済性については、ガイドウォール式のイニシャルコストを1.0としたときの比率で示す。

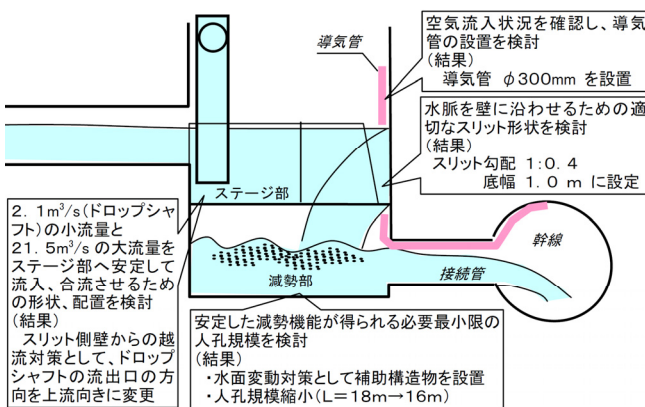


図-4 模型実験検討内容

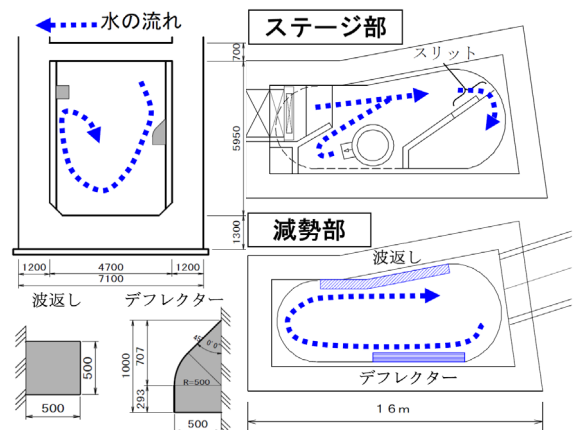


図-5 接続人孔内部構造

(2) 洛西・寺戸ー4 接続管

洛西・寺戸ー4 接続施設における接続管の構造、延長、土被り、地盤条件は図-6に示すとおりである。

国道沿道の用地内に設置する接続人孔（立坑）と国道直下の貯留管への接続管施工は、地下水の豊富な砂礫と粘性土の互層地盤を掘削する。さらに、幹線国道171号直下の施工であり、道路下には移設が困難な複数の地下埋設物が敷設されていることから、これらの影響を小さくするために非開削工法で計画する必要があった。

非開削で延長が比較的短い管渠の施工法は、一般的に刃口推進工法が経済性に有利であるが、地下水位以下では止水のための大規模な補助地盤改良が必要であった。

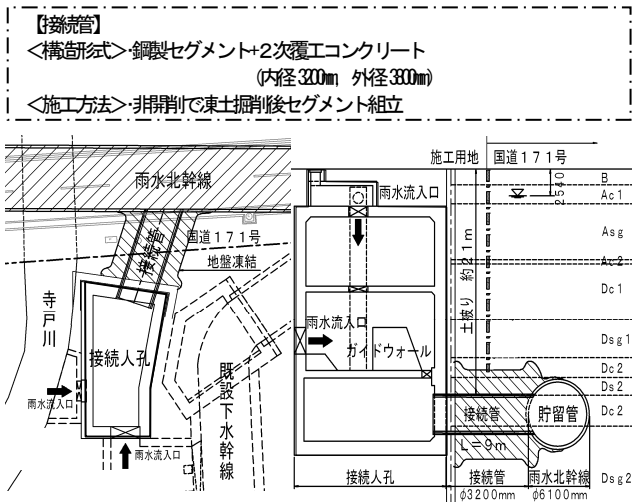


図-6 洛西・寺戸ー4 接続管の概要

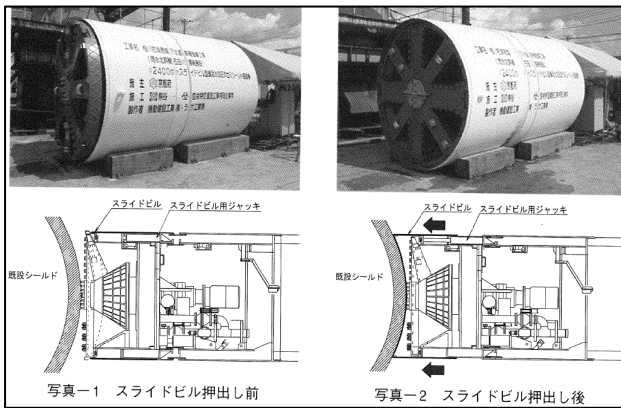


図-8 スライドビル（既設管渠接合）工法

今回は、土被りが約20mに及ぶ硬い互層地盤を掘削するうえに、砂礫層には高い地下水圧が作用しているため、確実な止水性と地盤強度を有した補助工法併用の施工が重要であり、表-2に示す最適な補助工法を比較検討した結果、地盤凍結工法を選定した。

接続管の施工は、凍土を人力掘削した後、鋼製セグメントの組立により築造した。

(3) 石田川接続管²⁾

石田川接続施設は図-7に示すとおり、接続人孔から接続管によって、東海道新幹線高架橋と交差し、国道171号直下の雨水北幹線まで連絡する施設である。

地下水の豊富な硬質砂礫地盤を主体に掘削する条件下での接続管の施工法としては、泥水式推進工法を選定した。さらに推進工事到達部となる貯留管接合部では、国道171号車道下での施工となることから、到達立坑を築造せずに、掘進機を既設シールド管渠に到達させて掘進機を回収する「スライドビル（既設管渠接合）工法」

（図-8）を採用した。また、高い地下水圧条件で安全に施工するため、補助工法として地盤凍結工法を併用した管接続施工を選定した。

表-2 洛西・寺戸ー4 接続管の施工法検討

項目	高圧噴射攪拌工法	凍結工法
施工概要	高圧噴射攪拌工法にて対象範囲の地盤強化と止水対策を行い、接続管部を掘削して管路を敷設する。	地上から凍結管施工し、対象範囲の地盤凍結より地盤強化と止水対策を行い、接続管部を掘削して管路を敷設する。
概要図		
止水の確実性	工法自体の止水性能は高いが、洪積互層地盤の当該地盤では、地盤境界部や薬液注入との境界部に水ミジの発生による出水が懸念される。	凍土を造成させるため、止水の確実性は高く、確実な地盤強度が得られるため、全断面掘削による施工が可能である。
斜施工対応	鉛直施工が基本である。	対応可能である。
経済性	1.0	1.1
評価	互層地盤に対する止水の確実性に課題が残り、今回のケースでは、出水に対するリスクが大きい。 鉛直施工が基本のため、国道171号を占用した施工となり、地下埋設物との干渉が課題となる。	止水の確実性が高いため、出水へのリスクが少なく、同種工事の施工実績が多い。 凍結管の埋入に際して、斜施工が可能であるため、地下埋設物との干渉を避け、国道171号の道路占用を伴わない施工が可能である。

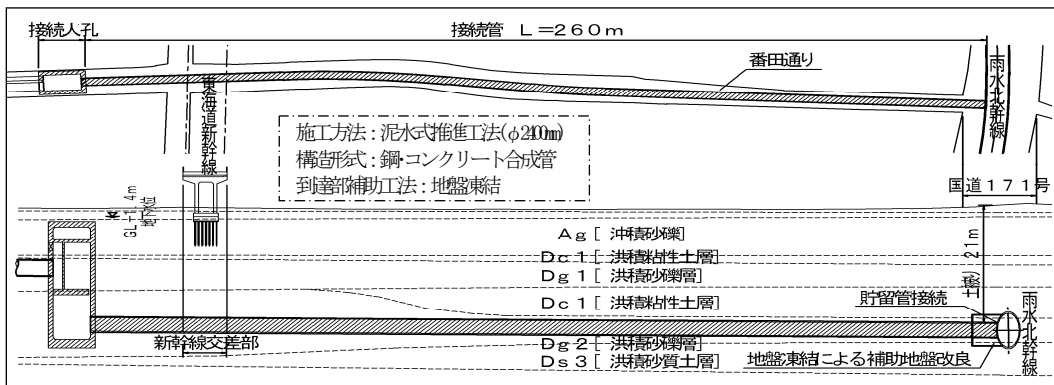


図-7 石田川接続施設の概要図

4. 排気施設

排気施設は、貯留管に雨水が流入した場合に、管内の圧縮された残留空気を管外へ排気する目的で貯留管の最上流部に設けられる施設である。

本文では、交通量が多く道路幅員が狭い住宅地域における、排気施設の設計と施工について述べる。

(1) 排気施設の構造 (図-9)

当初の基本計画では、排気する空気の風速を抑制できる必要断面から決まる開削工法の排気人孔で貯留管と接続する構造であった。

しかし、現状の道路構成から排気口の地上設置位置は中央帯部しかなく、貯留管の深さも土被り約20mと深いことから、開削構造に必要な柱列式連続土留壁等による長尺の土留施工が道路占用の観点より困難であった。

そこで、鋼矢板等の小スペースの占用で施工可能な開削工法の排気人孔と排気縦管（縦断的に排気縦管を4本施工）の組合せによる構造を採用することとした。

(2) 排気縦管の施工法

排気縦管は、貯留管と路上に排気口を立ち上げる中央帯の平面位置が同一でないため、3～5度の傾斜をつけて設置する必要がある。また、道路交通の影響を抑えるために、西行き車線1車線のみ占有しか許可されない条件である。表-3に地中に排気縦管を設置する方法として、「鋼管さや管方式」、「ハンマーグラブ方式」、「大口径ボーリング方式（TBH工法）」の適用性検討を示す。

その結果、今回の道路占用条件で傾斜をつけた縦孔を精度よく掘削できる施工として、TBH工法による排気縦管（鋼管）を建込む方式を選定した。

(3) 施工結果

a) 排気縦管の施工精度

大口径ボーリング方式の削孔による排気縦管（鋼管）の建込みは、1/200以上の精度を確保した出来型となっており、設計上考慮した施工誤差の範囲内で4本の排気縦管の建込みを施工できた。

排気縦管の建込みは貯留管のシールドセグメント天端0.5mまで行い、貯留管との接続は、図-10に示すように開口補強されたセグメントを開口し、貯留管内からキャップ状の金物を設置固定する構造で排気縦管と接続した。

貯留管との接続工事に際して、地下水の流入防止を目的に、接続部付近にはダブルパッカー工法による止水注入を事前に実施したため、接続施工による貯留管のセグメント開口時においても出水はほとんど発生しなかった。

表-3 排気縦管の施工法選定

施工方式	鋼管さや管方式	ハンマーグラブ方式	大口径ボーリング方式
斜施工への対応 (斜角:3~5度)	・施工角度を保持する機械を用いた施工が可能なため、斜角に対応した施工精度は良い。 ◎	・精密な精度管理は困難であるが、排気縦管より大きな径の削孔により、精度を補うことが可能である。 ○	・精密な精度管理は困難であるが、排気縦管より大きな径の削孔により、精度を補うことが可能である。 ○
道路占用 (施工幅6m施工)	・対応可能である。 ・狭小な範囲での施工が可能であり、路下施工による対応も可能である。 ○	・対応可能であるが、斜施工の場合、ハンマーグラブを地上へ上げた際、ハンマーが車道へ飛び出る危険性があり、狭い占用帯での安全性確保が困難である。 △	・対応可能である。 ○
経済性	△	○	○
工程	△	◎	◎
評価	・施工精度の最も優れた工法であるが、経済性・工程の面で大口径ボーリング方式案より劣る。 ○	・狭い占用幅での施工における道路交通の走行安全性の確保に課題が残る。 △	・排気縦管より大きな径の削孔で精度を補うことが可能であり、道路占用にも対応できる。 ・経済性、工程に優れる。 ◎

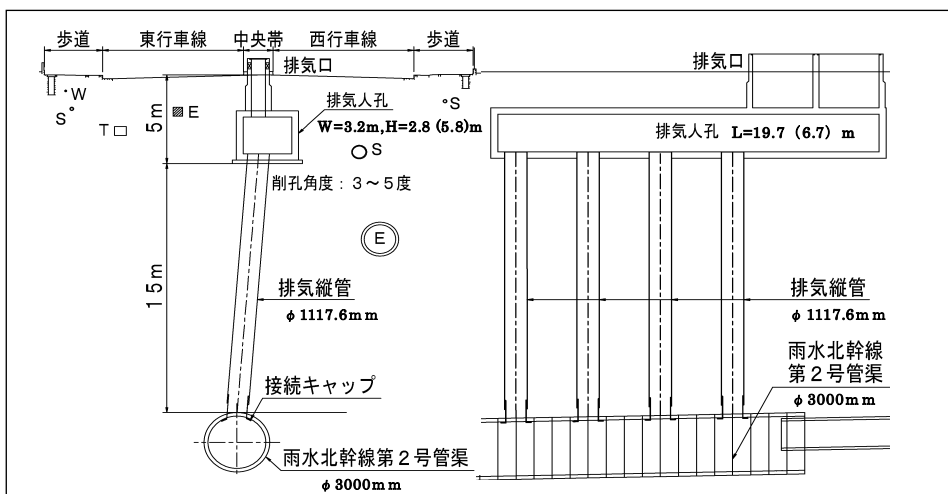


図-9 排気施設の構造



図-10 接続部の構造

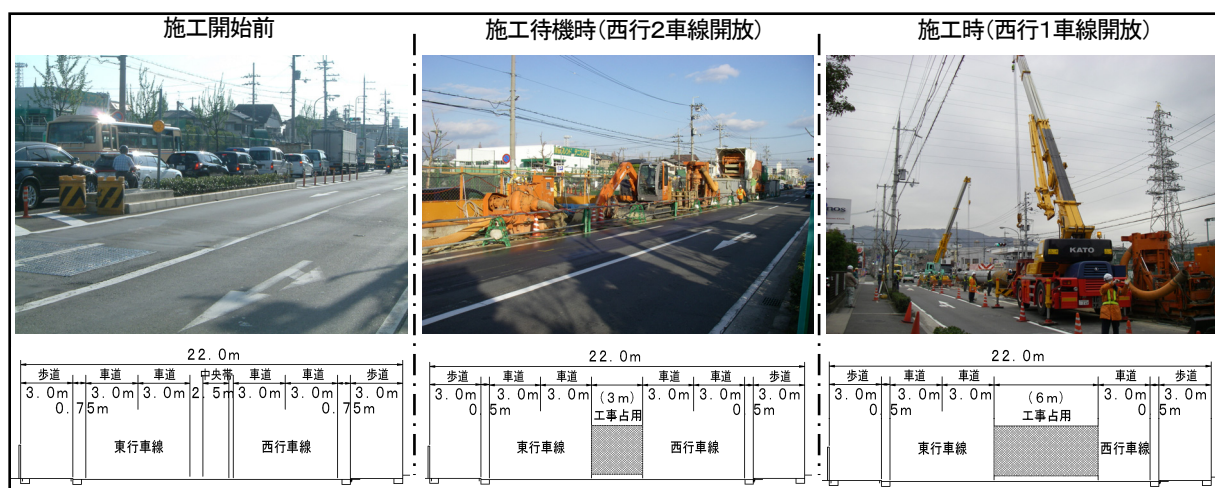


図-11 道路占用計画と道路占用状況

b) 道路交通への影響

施工時の道路占用は、周辺が宅地であることから夜間工事が制限され、さらに、東行車線は、直近に鉄道交差の踏切があるため、常時2車線開放する必要があった。

そのため、交通量の比較的小さい昼間に西行車線を1車線のみ開放して施工を行い、朝夕の道路混雑時間帯、および工事休止時は「施工待機時」として両方向2車線開放で中央に設けた占用帯に資機材を存置させる条件であった。(図-11)

排気縦管の施工において、TBH施工時の泥水タンク等の設備を重ねて設置することにより中央に設けた占用スペースでの収容に成功した。さらに、ボーリングマシンを3~5度傾斜して設置し、排気縦管の建て込みも通過車両への接触に十分注意して施工し、安全に施工完了した。

5. まとめ

雨水北幹線第2号・第3号管渠は、ハイブリッド式親子シールドという特殊なシールド工法、ガイドウォールによる落差工、大口径の推進施工、凍土掘削による接続

管施工、大口径ボーリング工法の斜施工など、多くの注目すべき技術が使われている。

これらの技術を用いることで、大深度での高い地下水位、都市部での道路交通や用地的制約などの厳しい現場条件に対応することが可能となった。

本事例を、同種の構造物を計画、施工する場合の参考としていただければ幸いです。

謝辞: 桂川右岸流域下水道雨水対策事業(雨水北幹線第2号・第3号管渠)の実施にあたっては、地域住民の皆様をはじめ、大変多くの方々の御尽力と御協力をいただきました。本当にありがとうございました。

本事業に携わってこられた皆様方に、心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) ハイブリッド式親子シールド工法—京都府いろは呑龍トンネル(雨水北幹線第2号・第3号管渠)—, 土木技術, 2009年10月
- 2) スライドビル(既設管きょ接合)工法施工事例, 月間推進技術, 2011年2月