

大深度地下空間を利用した河川整備について THE CONSTRUCTION OF THE RIVER IN THE UNDERGROUND OF THE LARGE DEPTH

小宮山 隆¹・北村 匡²
Takashi KOMIYAMA・Tadashi KITAMURA

Metropolitan Area Outer Discharge Channel is a river in the large-scale underground that is constructed to defend the east part of Saitama Prefecture region from the flood damage, and has used since 2006. Metropolitan Area Outer Discharge Channel was constructed by using a new technology for 50m of Kasukabe City in the underground. It is necessary to evaluate the deep underground space as a place where the river is constructed.

Key Words : Flood control, Discharge Channel, Shield Tunnel

1. 概 要

本稿では、大深度地下空間を利用して地下河川を建設した事例として、平成18年度より本格運用を開始した首都圏外郭放水路について、採用された技術の紹介および施設供用後の実績をふまえ、地下河川の利点や課題について報告する。

2. 外郭放水路の概要

首都圏外郭放水路は、埼玉県東部に位置する中川流域の慢性的な浸水被害の早期解消を図るため、中川・綾瀬川流域の洪水を江戸川に排水するための放水路である。(図-1)施設は埼玉県春日部市の国道16号の地下約50m、内径約10m、延長約6.3kmのトンネルを建設し、ポンプにより最大200m³/sを江戸川に排水する地下放水路方式を採用した。(写真-1、図-2)

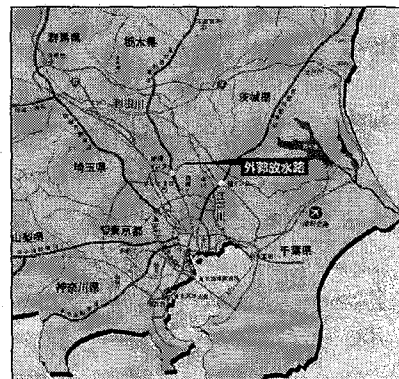


図-1 位置図



写真-1 周辺状況

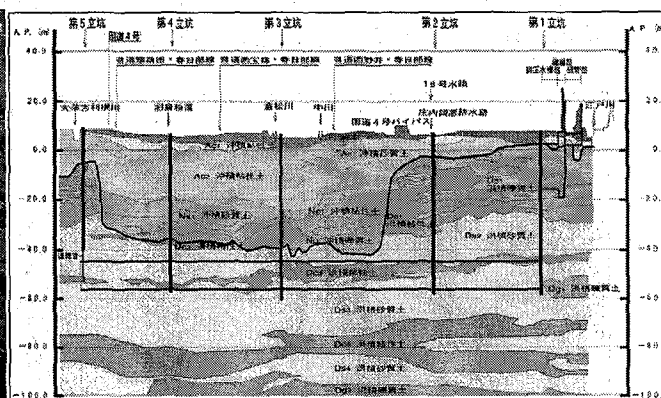


図-2 地質縦断面図

キーワード：地下河川、放水路、河川整備、シールドトンネル

¹ 非会員 国土交通省関東地方整備局江戸川河川事務所工務第一課専門員

² 正会員 国土交通省関東地方整備局江戸川河川事務所長

本事業は、平成5年度に事業着手し、平成18年度に事業が完了した。平成14年度より1・2工区(約3.3km)区間で暫定通水を開始し、平成18年度から本格的運用を開始した。

平成14年度の運用開始以来、平成19年3月までの5年間で32回稼働(平成19年度は9月末までに4回稼働)し、地域の浸水被害を劇的に軽減する大きな効果を発現している。(図-3)

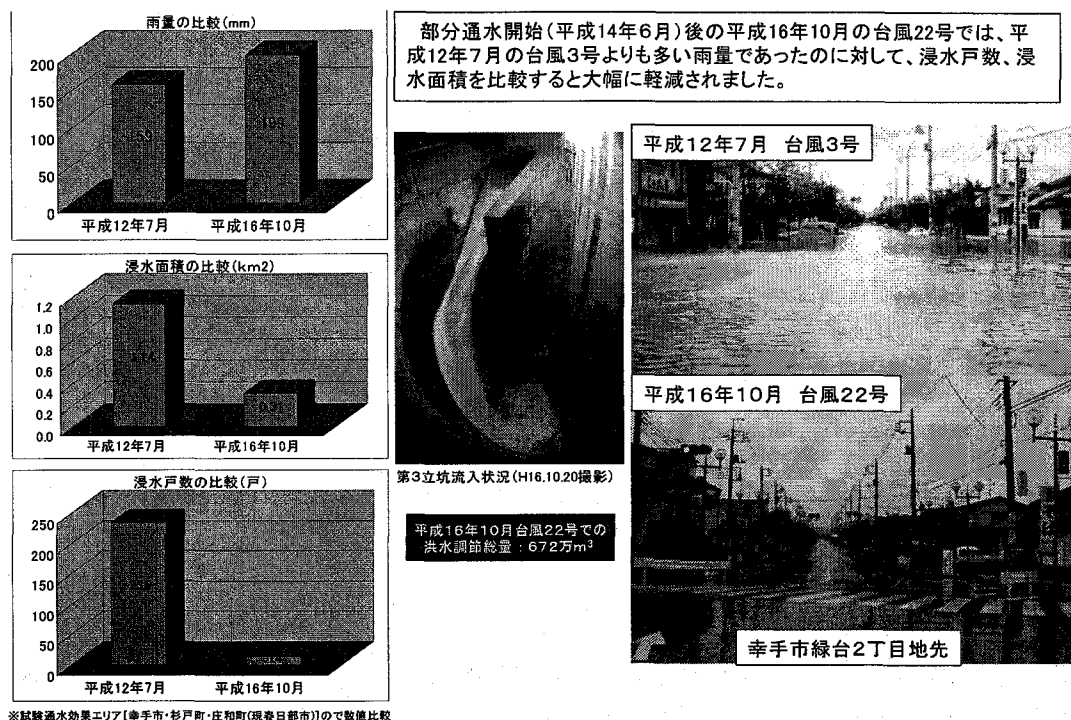


図-3 事業効果

3. 施設の概要

本施設は、流入施設(5箇所)、立坑(5箇所)、トンネル(5箇所)及び排水施設(調圧水槽・排水機場・排水樋管)で構成されている。

送水方式は、圧力管方式(サイホン型式)、立坑・トンネルの貯留量は約67万トンとなっている。各流入施設から取水された洪水は、立坑本体(全断面)から地下のトンネル内を流下し、第1立坑から地上付近の調圧水槽に流入する。地下施設内が満水となった後は、各支川からの流入量に応じてポンプにより江戸川に排水(最大200m³/s=50m³/s×4台)される。

洪水後は、流入水の腐敗防止と今後の洪水時の貯留能力確保のため、坑内を空水状態に保っている。残水処理は、第3立坑最深部に設置されている残水排水ポンプにより、流入河川である倉松川へ水位の状況を見ながら約3日間をかけて排水する。(図-4)

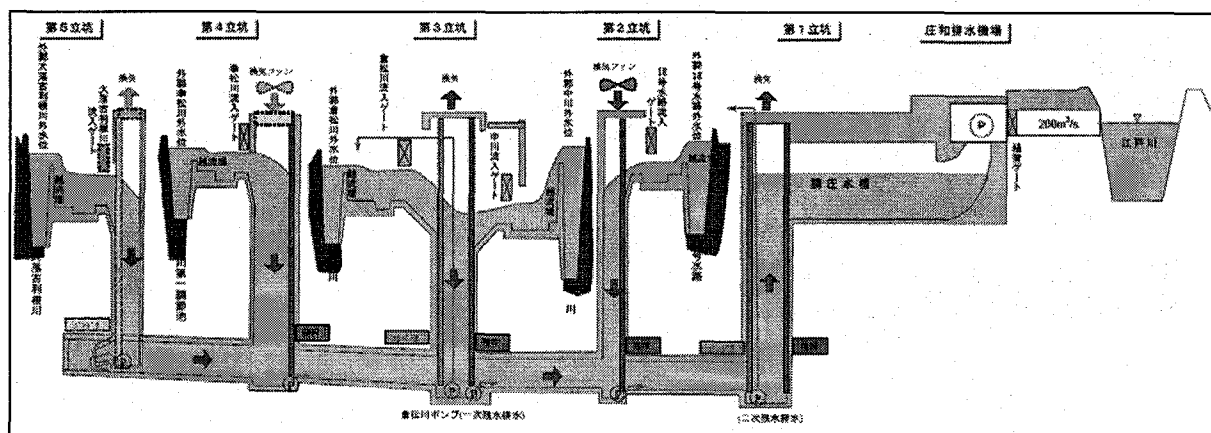


図-4 施設の概要

4. 事業計画

(1) 地下放水路の計画

外郭放水路は、中川・綾瀬川流域における中流部の頻発する浸水被害の軽減、事業の緊急性を考慮した治水計画である。放水路は流域の都市化に伴い、用地買収が大幅に必要な開水路方式は困難であることから、地下放水路方式を採用し治水効果の早期発現を図った。また、地下放水路とすることで、地域分断などの土地利用形態に対する影響が少なく、既存の道路、用排水路への影響も最小限とすることが可能となった。（図-5、表-1）

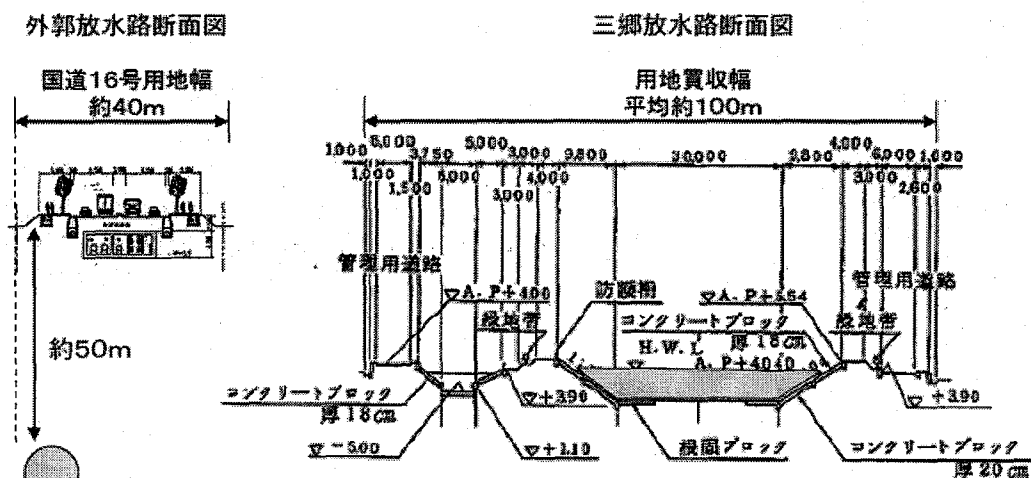


図-5 整備方式の比較

	外郭放水路	三郷放水路
放水路延長	約 6.3km	約 1.5km
用地買収面積	12.6ha	15.3ha
用地費／事業費	2.60%	15.90%

※排水量はいずれも200m³/s
 ※用地買収面積は、排水施設、
 付け替え水路等を含む

表-1 整備方式の比較

(2) 送水方式

地下放水路の形態は、開水路方式と圧力管方式を比較検討した。大深度地下放水路においては、排水施設の機能確保の観点から、排水施設を地上付近に設置することが有利であるため、圧力管方式(サイホン方式)を採用した。サイホン方式を採用するにあたっては、土木構造物に与える水圧の影響や排水運転後も貯留されている残水の水質悪化等が懸念されるため、構造に関する検討や運用方法を検討した。

5. 新技術の導入

大深度大口径地下放水路の圧力管方式の建設は、わが国初の事例であり、計画当初から「首都圏外郭放水路技術検討委員会」を設立し、新技術の導入を積極的に図り、工期の短縮やコスト縮減のため様々な技術的な検討を行った。

ここでは、外郭放水路で使用された地下河川独特の新技術について紹介する。

(1) 高落差大流量流入施設

外郭放水路第3立坑では最大 100m³/s の流量を 50m の高低差で安定して流下させる必要があり、新たに開発された大口徑壁面落下式形状を採用した。従来の立坑内にドロップシャフトを設置する方式(図-6)と異なり、立坑壁面に沿って洪水流が流下する型式(写真-2)は、圧力運用時の損失水頭を極力小さくすることが可能であり、立坑に流入のための施設が不要となることから大幅なコスト削減を図っている。

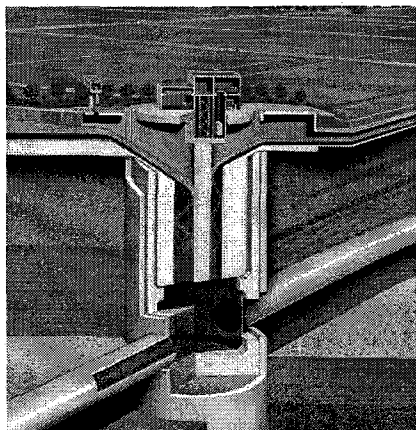


図-6 従来の立坑計画

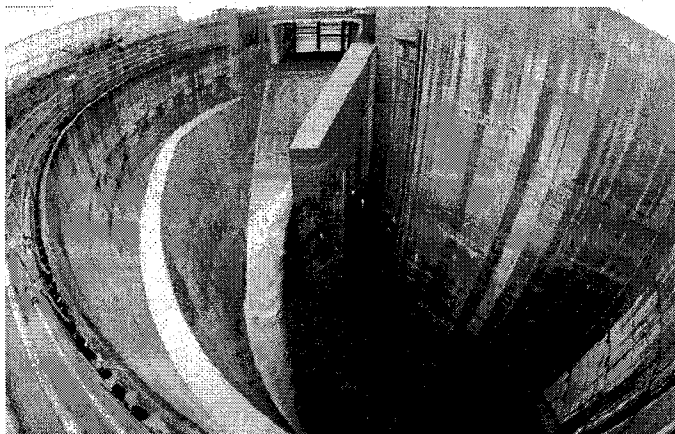


写真-2 第3立坑流入施設

(2) シールドトンネル

地下トンネルはシールド工法により地下約 50m に施工されている。国道 16 号下の本管トンネルは内径 10.6m、セグメントは幅 1.2m、9 等分割を使用している。セグメントは、地質条件および上載荷重条件により、RCセグメント、ダクティルセグメント、鋼製セグメントを使い分けている。以下セグメントの特徴について述べる。

a) 内水圧対応二次覆工省略セグメント

圧力管方式では、トンネルに内水圧が作用する。従来、水路用シールドトンネルでは、鉄筋コンクリート等による二次覆工を行っていた。しかし、外郭放水路では一次覆工のみで内水圧に対応することとし、二次覆工を省略し、コストの削減を図っている。

二次覆工を省略するにあたっては、内水圧についてトンネルの使用条件や内水位の変動に対し安全となるよう、異常時内水圧を考慮した設計を行った。(図-7)また、継ぎ手部には、外水圧と内水圧を考慮し、水膨張性シーラ材を二重に設置した。なお、将来のセグメント表面の補修部分として 300mm を確保した。

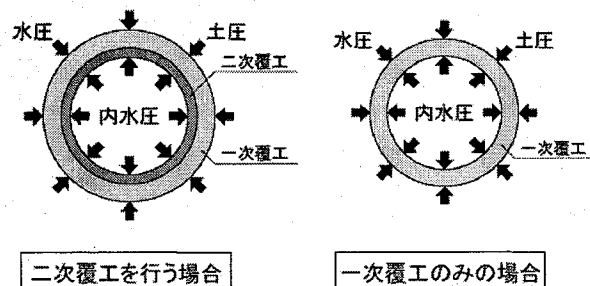


図-7 二次覆工省略セグメント

b) セグメント内面の平滑化

トンネル内面は、流水と接するセグメント表面の粗度を低減させるため、ボルトボックス等の凹部についてモルタル充填等の処理を行った。なお、セグメントの継手方式については、各工区で異なる方式(第1工区:コッター継手, 第2工区:高剛性継手, 第3工区:長ボルト継手, 第4工区:コッター継手, 第5工区:リングロック)を採用している。第1・第4・第5工区では、内面平滑セグメント(写真-3)を採用し、ボルトボックスの穴埋めにかかる費用を削減した。



写真-3 内面平滑セグメント

(3) サージング対策

ポンプ稼働時において、不確定要因により主ポンプが急停止した場合、サージング現象への対策が必要となる。本施設では、サージング対策として排水機場側に面積 12,000m² の調圧水槽(写真-4)を設置した。また、流入施設側(立坑)においてもサージング発生時の水位上昇を見込んだ設計となっている。管路の端部となる第5立坑において 9m に達する水位上昇に備えている。さらに、流入施設には、流入遮断および逆流防止のため 5 分以内に全閉できる機能を有した制御ゲートを設置した。

なお、通常運転でのポンプ停止時は緩やかな排水停止を行っているが、立坑において周期 30~40 分、水位差約 1m 程度となるサージング現象の発生を確認している。(図-8)



写真-4 調圧水槽

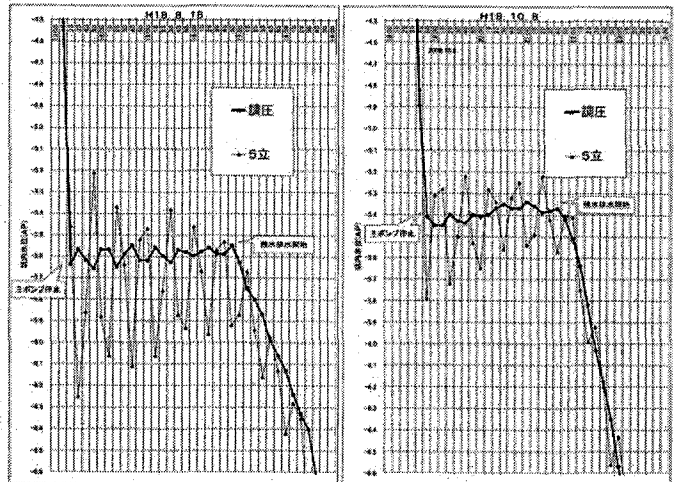


図-8 排水停止時のサージング

(4) 排水施設

排水機場は、50m³/s の排水ポンプが 4 台設置されている。排水ポンプはポンプ入り口の流速を従来の約 2 倍と高速化するとともに羽根車を小型化し、従来であれば吸い込み水槽の幅が 16.5m 必要であったものを 12m に小型化した。また、排水ポンプの全揚程は 14m にもなるため、原動機には高出力を発生する航空機用エンジンを転用したガスタービンエンジンを使用している。(図-9)

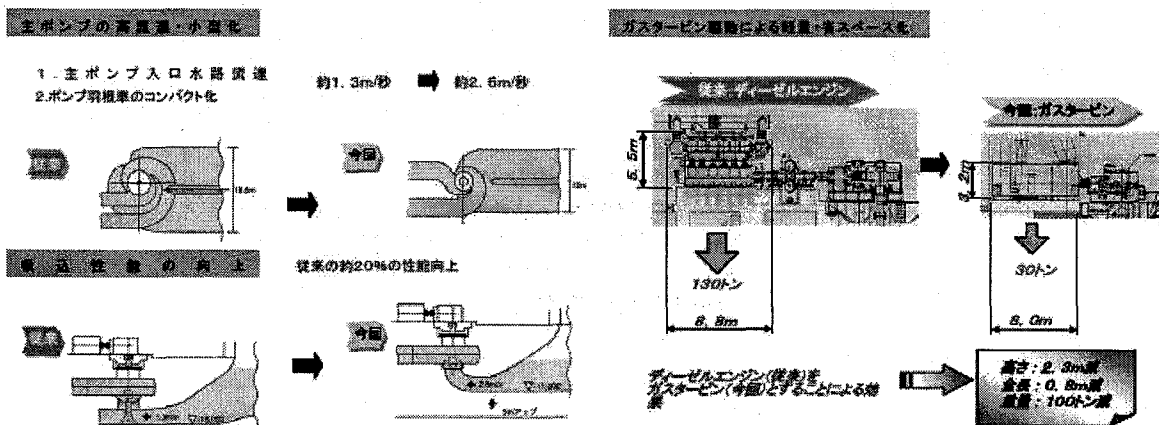


図-9 排水施設概要

6. 周辺環境対策

本事業の実施に先立ち、本施設が周辺環境に与える環境影響評価を実施した。また、平成 14 年から試験通水を行い、供用時および維持管理における問題点等の把握と改善を行った。

(1) 水質対策

水質に関して課題であった洪水後に坑内に貯留されている約 67 万 m³ の貯留水の水質変化については、4 日間貯留後の水質調査を実施した。(図-10)特に課題であった溶存酸素の減少(7.8→6.6mg/L)は小さいものであった。なお、坑内からの排水時にポンプ排水時のばつき効果加わることが考えられるとともに、倉松川流入施設においては長期滞留時の対策として散気施設を設置した。

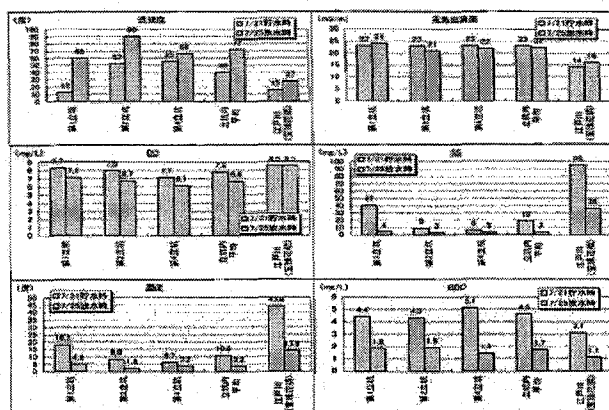


図-10 貯留時の水質変化

(2) 坑内残留土砂対策

これまでの運用実績から、年間平均 7～8 回の洪水流入により施設内に堆積する土砂は、シルト分を中心におよそ 1,000m³ である。これは当初の見込みを超える量であり、堆積土砂はトンネル内の多いところで 30cm 程度堆積(図-11)し、施設点検や残水ポンプ運転に障害をきたしており、維持管理上の課題となっている。流入した土砂は、非出水期に車両系の建設機械でトンネル内の集泥、運搬を行い、クレーン+バケットで搬出し、1年間天日乾燥した後に築堤等に利用している。なお、転用に際しては、土質試験および底質分析(土壤環境基準項目)を実施している。

また、坑内に流入する土砂量を低減させるため、取水施設前面の浚渫等を実施している。今後、土砂の流入防止対策や効率的な土砂撤去方法が検討課題となっている。

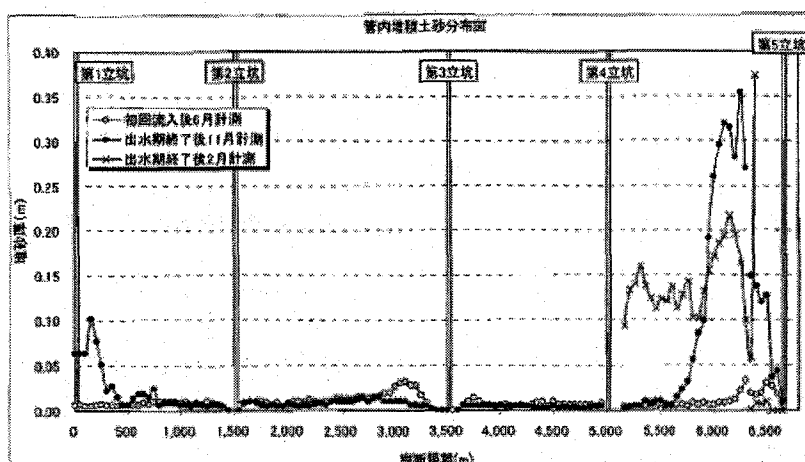


図-11 土砂の堆積分布

(3) 臭気対策

本施設は、地下の閉塞された空間であり、前述の坑内への流入物の腐敗等による無酸素状態、有害ガス対策として、入坑時の作業環境を確保するために換気設備を設置した。設備は送風管方式の採用が困難なため、立坑上部より施設内に強制給気する方式を採用し、トンネル部において風速 0.3m/s を確保した。

供用開始後の酸素濃度、硫化水素、一酸化炭素、可燃性ガス等の調査では、異常な数値は確認されておらず、周辺住民等からの悪臭等の苦情も寄せられていない。なお、現状では無換気時においても、施設形状により生じる気温差が原因と思われる風速の発生が確認されている。

(4) 地下水対策

立坑やトンネルが地下水に与える影響を調査するため、工事着手前より施設周辺の18箇所(図-12)において水位等の観測を継続的に行っている。観測結果からは各地点において水位の変動が確認された。しかし、周辺の水位記録や施工時期より、施工時および施設設置に起因する変動ではない。したがって、本事業による地下水への影響はなかったものと考えられる。

(5) 地盤沈下対策

本事業は、国道16号の地下空間を利用しており、地上の沈下に対する影響を調査するため、路線測量により工事施工に伴う沈下量測定(図-13)を実施した。沈下はトンネル上部において観測されたが、シールド通過前後の沈下傾向に変化はなく、観測された沈下は広域沈下等の影響によるものと思われ、本トンネルによる影響はほぼ無いものと考えられる。

なお、立坑直近をはじめ、施工ヤード(流入施設敷地)においては、施工および施設設置に伴う盛土や立坑の施工等の影響によるものと考えられる沈下が生じている。また、敷地境界においても60mm以上の沈下が発生し、周辺施設、民家等の事業損失補償を実施した。

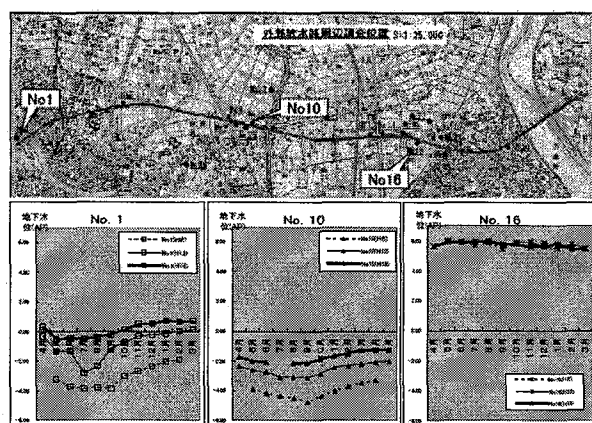


図-12 地下水位変動

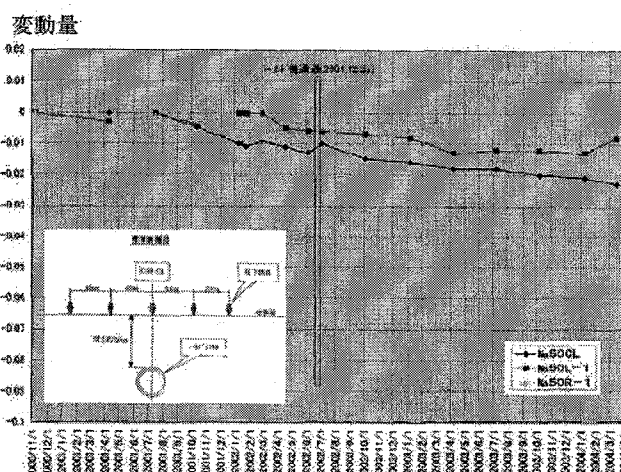


図-13 トンネル掘削時の地盤沈下

(6) 騒音・振動対策(施工時、施設稼働時)

施工時における施行ヤード周辺の騒音、振動対策については、通常のシールド工事同様に事前の検討をもとに防音壁等の対策を実施した。また、完成後の施設稼働時における騒音、振動に関しては、類似施設の状況や事前の解析結果により、環境基準以上の騒音発生が予測された。このため、住宅に近接する流入施設では、施設を地下化する対策を実施し、試験通水時に稼働時の騒音、振動測定を実施した。

第5立坑の流入時騒音については、流入部の流入時、施設内を流下時、立坑への落下時に発生する低周波域(40~80Hz)の騒音について、周辺住民からの苦情があった。これは「低周波問題対応の手引き書」(H16 環境省)による「心身苦情に関する参照値」を超えるものであり、流入量等を考慮した解析(図-14)を行い、計画流量の流入時においても基準値を満足する対策工(遮音カーテン、施設内天井吸音板、防音壁等)を追加実施した。(図-15)

なお、流入時の振動については、環境基準以下であり問題は生じていない。

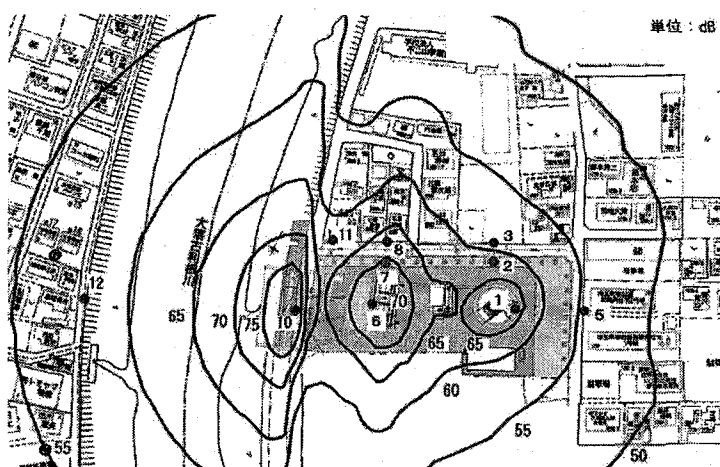


図-14 計画流入量流入時の騒音予測

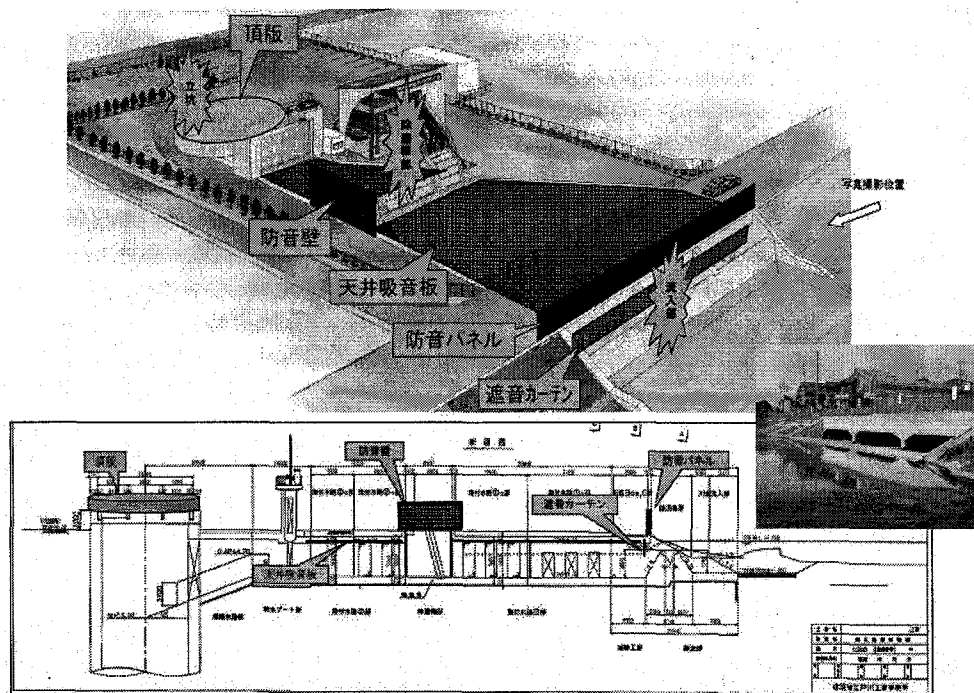


図-15 流入施設の防音対策

7. 地下放水路の維持管理の課題

大深度地下河川が道路や鉄道トンネルと大きく異なる点は、坑内が濁水による高水圧下に置かれ、かつ流速が生じることから、維持管理施設の設置が困難なことである。また、出水後に残留する土砂やゴミ等により入坑、点検が困難となる。さらに構造的にも常時通水している水路トンネルとは異なり、作用する荷重が大きく変化するという問題がある。これらの特徴から、供用後の維持管理が困難となることが施設計画時から予想されたため、本事業の実施に際しては、構造や設計検討に並行して、維持管理に関する検討部会を開催し、将来の維持管理を行うために必要な施設や課題について検討を行った。以下では、本施設の特徴を踏まえ、あらかじめ整備した管理用施設や、管理の現状について特徴的なものを紹介する。

(1) 構造物の調査点検

a) 調査点検

トンネルを含めた土木施設の点検は、日常点検、出水期前および出水期後、異常時点検、臨時点検、詳細点検に区分し、それぞれの目的に応じ点検内容を定めた。入坑して行う点検は、目視による異常箇所の確認を主体としているが、出水期中は出水時の対応や、流入土砂の堆積により、照明や高所作業車等の搬入、運搬が困難であり、非出水期において、土砂の搬出作業と合わせて、打音調査や内空変位の調査等が必要に応じ実施している。

トンネル内の計測は、6箇所での計測断面において、トンネル施工時に設置された計測機器を有効利用して、土圧、水圧、鉄筋応力、継手応力、鉄筋腐食の測定を継続して実施(図-16)している他、立坑部における洪水流入時の衝撃等も計測している。これら計測機器のデータは、自記計により連続観測しており、管理値を定めて詳細点検時期や補修時期の判断資料にすることとしている。

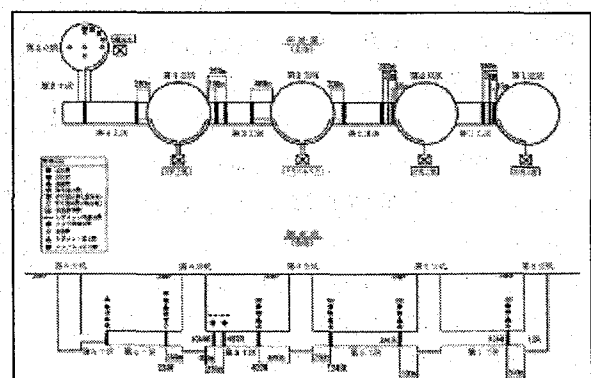


図-16 坑内の計測機器配置

b) 地震時の点検

現在、地震時の点検については、他の河川管理施設同様に、震度4以上で点検を実施することとしている。阪神淡路大震災では、シールドトンネルに機能を損なう被害が生じなかったことなど、大深度地下構造物の耐震性を考慮し、トンネル部の点検はトンネル位置(深度)における震度を点検の基準とした。現在、地表部と立坑最深部に加速度計を設置し震度の相関についてデータを収集、分析している。

(2) 補修・補強

本施設のトンネルは、大規模な地下河川トンネルで初めてとなる二次覆工省略セグメントを採用し、トンネル内面に摩耗代および将来の補修部分を確保している。

これまでの5年間で32回の通水を行ったところであるが、トンネルの1部区間についてセグメント表面が剥離する現象(写真-5)が発生した。学識経験者による検討委員会等で検討の結果、この現象は洪水の流入に伴い、作用する荷重が大きく変化することにより生じたものである。(図-17)剥離の発生している区間については、コンクリート二次覆工を施すこととし、平成19年度の非出水期に施工を予定している。

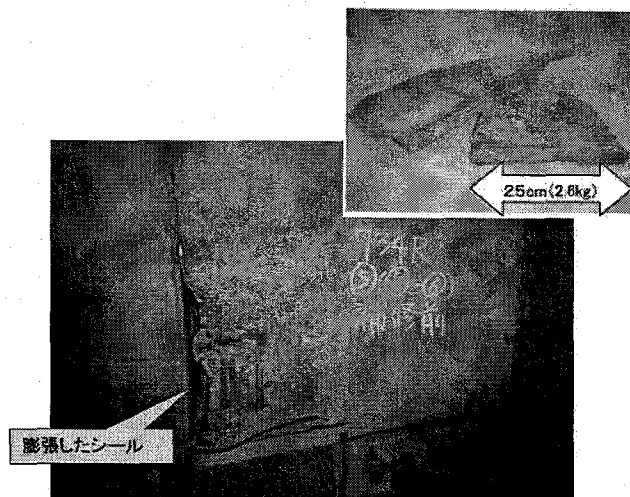


写真-5 剥離したセグメントと剥離片

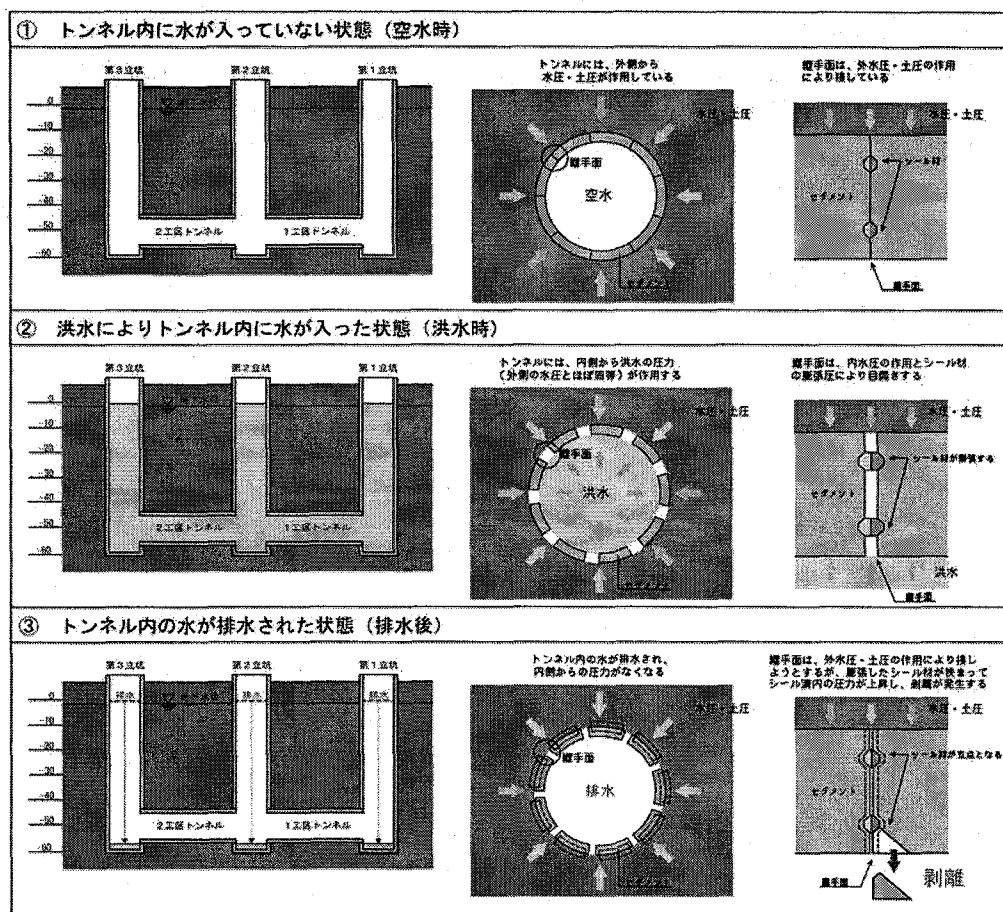


図-17 剥離現象のメカニズム

(3) 維持管理の実施体制

外郭放水路の維持管理は、新たに管理支所を設け、洪水時の運転操作、日常点検、機械設備保守等を行っている。定期的な点検及び異常時や緊急時の点検については、地上からの目視や計測データを確認し、坑内換気が完了後に入坑して目視による確認を行っている。

(4) その他、見学者の対応について

外郭放水路では、施工中から地底コンサートの開催など積極的な広報活動に取り組んで来たところである。大規模土木施設や地下空間の魅力が話題となり、取材や見学の要望に対し、取材協力や常時見学会を開催するなど積極的なPRを行っている。施設の見学者数は毎年増加しており、平成18年度は約8,000名で、施設計画時には予定していなかった照明や手すり、滑り止めの増設などの対応を行っている。転倒等の危険もあるため、施設公開の難しさも感じているところであるが、今後も施設の公開などを通じて、治水事業の必要性や効果を説明する場として活用したいと考えている。

8. 最後に

近年頻発する都市型水害に対する治水対策として、各地で地下空間を利用した貯留施設等の整備が進められている。限られた都市空間の中で行う治水対策として地下空間を利用することは、事業効果の早期発現や、用地費を含めた整備コストの面で極めて有効な手段である。さらに、本事業では適用されていないが、大深度法(大深度地下の公共的使用に関する特別措置法：平成12年施行)や、河川立体区域(河川法58条の2)の適用により、より効率的な地下河川の整備が可能であると考えられる。

首都圏外郭放水路事業では、地下空間を河川として利用する取り組みとして、大深度、大口径の地下河川の技術的な課題等を克服するため、様々な新技術やコスト縮減対策を積極的に採用して進めてきた。外郭放水路での施工実績や維持管理の現場で得られた経験やデータが、今後の地下空間の利用において活用されることを期待するものである。

また、地球温暖化の影響も懸念される今日、今後この施設が一層機能発揮し、地域の安全、安心の社会に向けて貢献できるものと考えている。

最後に、本事業は学識経験者をはじめ多くの関係者にご協力をいただき実現に至ったものであり、この場を借りてあらためて感謝する次第である。