

地下水流動保全対策として採用した 水中躯体移動設置工法の施工

中村一郎⁴ ・ 島田剛¹ ・ 丹圃賢治² ・ 工藤山城² ・ 櫻井昭二³ ・ 向井研⁴

¹ 正会員 東京都建設局 第四建設事務所（〒170-0005 豊島区南大塚 2-36-2）

² 東京都建設局 第四建設事務所 環八西工事事務所（〒177-0034 練馬区富士見台 3-62-7）

³ 正会員 株式会社千代田コンサルタント 東京支店 技術 2 部（〒114-0024 北区西ヶ原 3-57-5）

⁴ 正会員 大成建設株式会社 東京支店土木部 南田中立体作業所（〒117-0035 練馬区南田中 2-20）

近年、大規模な開削工法を用いた地下構造物を建設する際、地下の線状構造物が地下水脈を阻害し上流側では地下水位の上昇、下流側では地下水位が低下するいわゆる地下ダム化現象を発生させ、地盤沈下を始めとする周辺環境等への影響が社会的問題となっている。

南田中トンネル工事地点も同様の問題が指摘され、恒久的な地下水流動保全対策工法が求められ、従来の地下水流動保全対策工法と全く異なった発想から、トンネル線形と地盤条件、地下水流況を考慮した解析結果をもとに、現状の通水層を乱すことなく通水性能を確保できる新たな「水中躯体移動設置工法」を開発し施工した。

キーワード：地下ダム化、地下水流動保全対策、都市土木、沈埋工法

1. はじめに

東京都市計画道路環状第 8 号線は、昭和 21 年 3 月 26 日戦災復興院第 3 号にて都市計画決定され、その後、昭和 59 年 3 月 21 日に湾岸道路までの羽田区間が都市計画変更により延伸され、現在の環状第 8 号線（以後、環 8）となっている。

環 8 は、大田区 羽田空港 3 丁目（湾岸道路）から北区岩淵町（北本通り）に至る、区部の北西部地域に位置する半環状の路線で 特に多摩地域や埼玉県南部地域から都心に流入する交通を分散させる役割が大きい。また、環 8 の整備により、環 7 交通の負荷軽減にも大きく寄与するものと期待されている。

環 8 の整備状況は、平成 16 年 3 月末で、計画延長 44.2km のうち、40.0km、約 90% が交通開放されている。残る区間は練馬区及び板橋区の 2 地区、4.2km であり、平成 18 年春に本線の交通開放を目指し鋭意事業を進めている（図-1）。



図-1 環状第 8 号線 全体計画図

2. 地下水流動保全対策の検討

(1) 地下水流動保全の必要性

平成9年に供用開始した井荻トンネルでは、築造に伴う土留め壁に起因する地下水流の地下ダム化現象が発生した。その結果、土留め壁を挟んだ地下水流の下流側で3m程度の水位低下が生じ、近隣家屋で不等沈下現象などの居住環境の悪化が問題となった。そこで、今回施工の南田中トンネルでは、施工に伴う土留め壁設置により、地下水流を遮断することで発生する地下ダム化現象を防ぐ地下水流動保全対策が特に重要な検討項目となった。

(2) 地下水調査

南田中地区では、平成12年度から観測井による継続的な観測、ボーリング調査(32箇所)の結果(図-2)及び沿線にある多くの井戸を利用して、地下水に関するデータを収集・解析した。その結果、現況地下水位分布を図-3のように表すことができた。

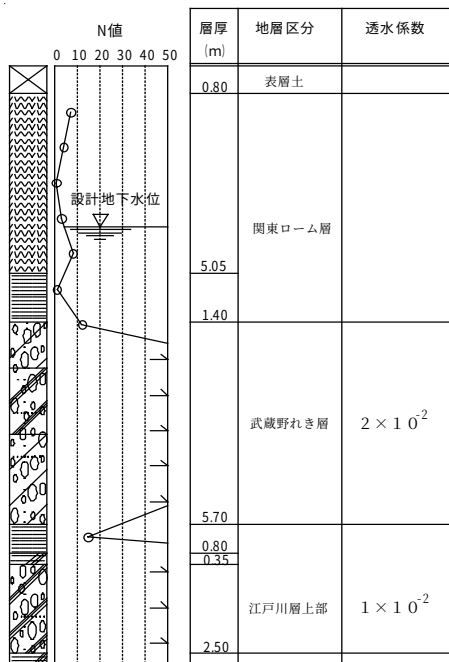


図-2 施工位置土質柱状

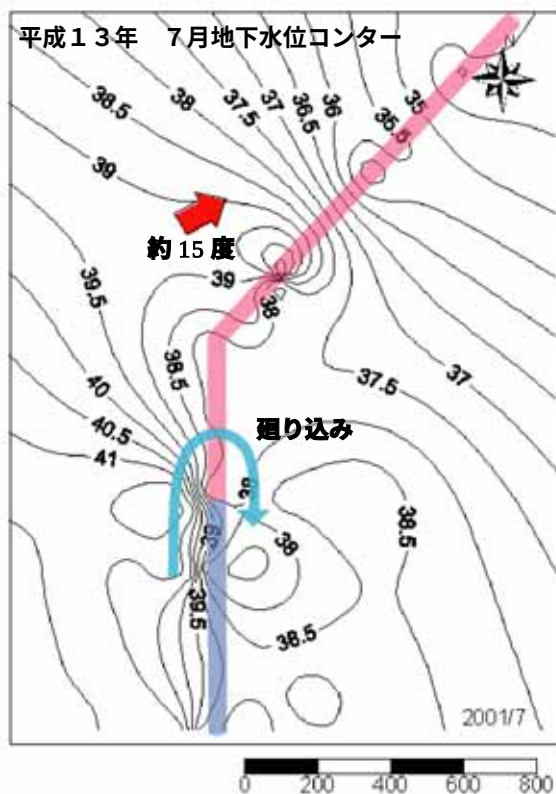
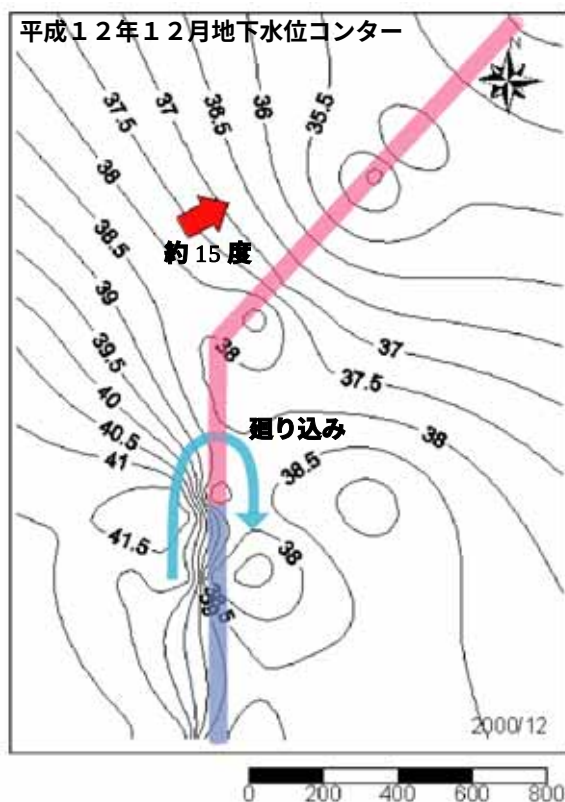


図-3 現況地下水位分布図

(3)地下水の動向

調査の結果、地下水は地表面下-7m以深にある武蔵野礫層（Mg）と、その下にある江戸川層（Ed）に豊富にあり、流向は東北東に向いていることから、今回築造する南田中トンネル道路中心方向に対して、約15度の角度で交差していることが分かった。また、既存の井荻トンネルの北側出口で地下水の「廻りこみ現象」が起きていることも確認できた。

(4)地下水保全対策箇所の選定

地下水流動保全対策を行うにあたり、地盤の沈下量が2cm以下であれば、周辺家屋への影響は最小限に抑えることができることから、地下水位低下と圧密沈下量の相関関係から、地下水位の低下量の許容値を1.0mとした。この条件のもと、地下

水調査やボーリング調査の結果及び地形・現場周辺状況を検討項目として28のケースで地下水位の変動予測解析を行った。

解析の結果、通水箇所は通水効果が期待できる「武蔵野礫層（Mg）」と「江戸川層（Ed）」に設け、1箇所あたり120m²（高さ6m×延長20m）のブロックを4箇所設けることにより（図-4）、地下水位の変動を最小限にでき、周辺地盤への影響が少なくなることが判明した。

また、環8の屈曲部に大きな影響が出ることが予測されたことから、当該部分の延長を40mとし、全体で3箇所（4ブロック）の通水区間を設けることとした。この対策を実施することにより、地下水低下の最大値を-0.71mに抑えることができることが解った（図-5）。



図-4 通水ブロック位置図

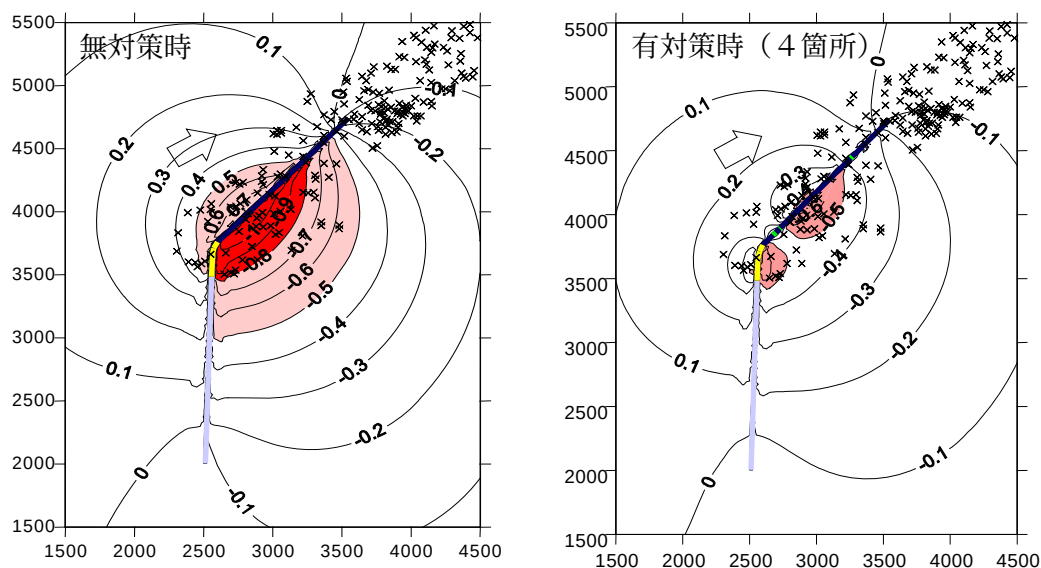


図-5 通水保全対策効果の予想地下水位分布図

3. 地下水流動保全対策工法の選定

(1) 地下水流動保全対策工法の選定フロー

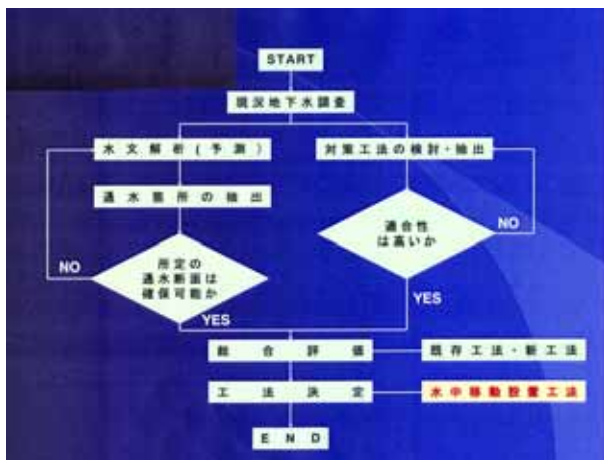


図-6 地下水流動保全対策工法選定フロー図

(2) 地下水流動保全対策工法の現状

既に施工実績がある地下水流動保全対策工法としては、①通水管横断工法、②開削工法（土留め撤去工法）、③非開削工法（パイプルーフ工法）等がある。

これらの工法のうち、①、②は施工方法から躯体と官民境界との間に余裕がある場合に適している工法である。③は地下水流動保全対策としては有効であるが、躯体底版下2～3m程度はパイプルーフの施工上、薬液注入等による不透水層の構造とすることから通水性能が低下する。また、経済性からも他の工法に比べコスト高になる欠点がある。

(3) 地下水流動保全対策工法の検討

検討にあたっては、住宅地域での工事であること、地下水位が高いこと、躯体底版直下にある武蔵野礫層と江戸川層が通水層となっていることなど、環8固有の現場条件を踏まえ、既に施工されている工法と、新たに考えられた水中躯体移動設置工法をあわせた21種類の施工方法について検討を行った。環8の地下水流動保全対策工法の選定にあたっては、トンネル躯体底版直下の地盤に手を加えず、できるだけ自然な状態のままにして、

良好な通水層を確保できる施工方法を選定することが特に重要検討課題となった。

検討のなかでは、ニューマチックケーソン工法、パイプルーフ工法等が有力な候補として取り上げられたが検討の結果、非開削工法より低コストで短い工期で施工できること、他の開削工法より狭い工事範囲で施工できることなどにより水中躯体移動設置工法を選定した。

さらにこの工法を選定した最大の理由としては、施工に伴う通水層への影響が少なく、将来とも良好な通水層が確保できることにあった。

4. 水中躯体移動設置工法の概要

(1) 水中躯体移動設置工法の概念

この工法は、海洋土木の沈埋工法の原理を応用した新しい工法で、気中で躯体の一部分を構築し躯体を水に浮かべて所定の位置まで移動し、その後その躯体を計画通りの位置に着底・固定して、残りの躯体を引続き構築していくものである。

(2) 水中躯体移動設置工法の特徴

環8の南田中トンネル工事は、現場状況により開削工法を基本にしており、通水対策区間以外は、等厚ソイルセメント連続壁で土留めを行いトンネルを構築する計画である。

水中躯体移動設置工法は、等厚ソイルセメント連続壁（TRD工法）を利用し、これと直交する方向に、躯体移動時に切断する間仕切り用の鋼矢板を設置しトンネル躯体を構築する。

構築立坑はドライ状態、移動設置する設置立坑（通水区間）は、水中掘削で施工する。このとき、設置立坑では、トンネル完成までの間一時的に地下水を遮断してしまうことになるが、道路縦断方向に通水層まで浅く（3m程度）根入れさせた鋼矢板を土留めとして設置する。

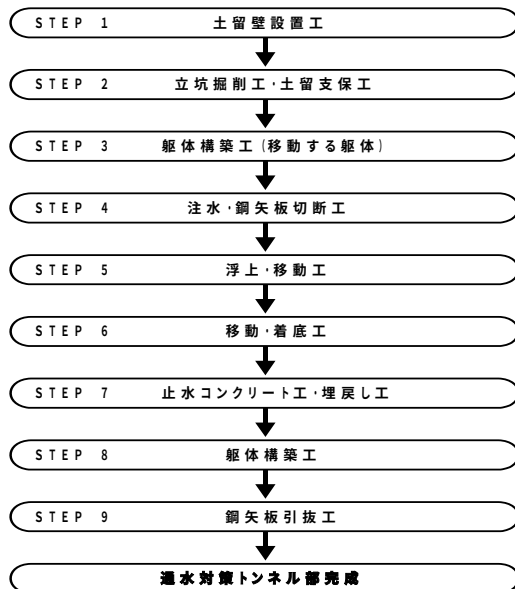
(3)通水断面の確保

道路縦断方向に施工した鋼矢板は、若干通水層を乱すことになるが、水中掘削を行うことから鋼矢板の根入れを短くすることが可能となり、地下躯体施工中も一定の通水量が確保できるため、施工中の地盤沈下抑制が図れる。この鋼矢板は、トンネル躯体が完成し埋戻しが終わった段階で引抜くもので、トンネル完成時には所定の通水断面積を確保することができる。

5.水中躯体移動設置工法の施工

(1)施工順序

以下に施工順序フローを示す。



(2)構築立坑及び設置立坑位置

施工を行う1・2ブロック及び3ブロックの施工位置を示す(図-7)。18BLが通水部1ブロック、19BLが2ブロック、21BLが3ブロックで、各ブロックの延長は20mである。

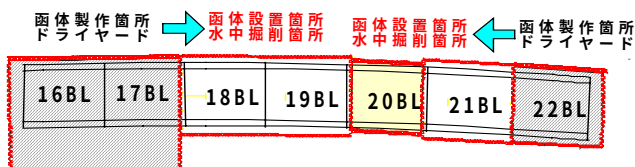


図-7 1・2・3ブロック施工位置図

(3)土留壁設置工 (step1)

設置立坑を除くブロックには、等厚ソイルセメント連続壁を設置する。設置立坑（通水区間）部分と隣接するブロックとの間仕切り用鋼矢板を設置する。

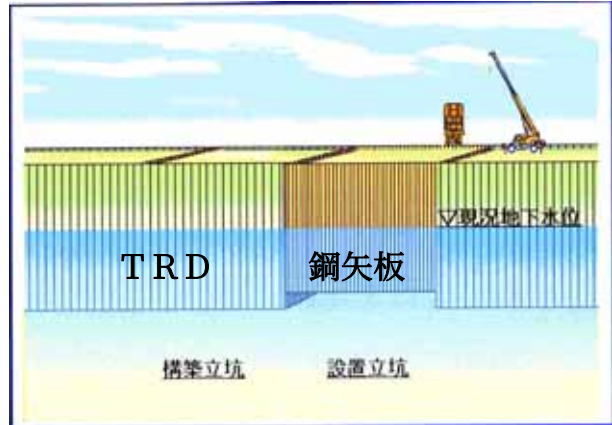


図-8 土留壁設置工 (step1)

(4)立坑掘削工・土留支保工 (step2)

構築及び設置立坑の掘削は、構築立坑では「ドライ掘削」、設置立坑では、地表面から地下水位までを「ドライ掘削」で、地下水位以下から床付面までを「水中掘削」で施工した。

18・19BLでは、地表面から10.0mまでがドライ掘削で、床付面までの1.5mを水中掘削で行った。21BLでは、10.1mがドライ掘削で床付面までの1.3mを水中掘削で行った。

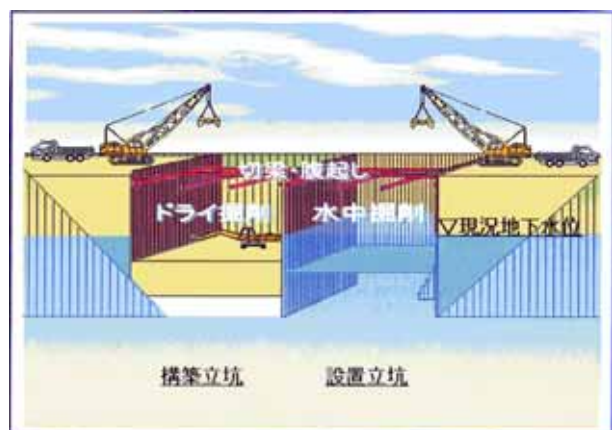


図-9 立坑掘削工・土留支保工(step2)

(5) 躯体構築工 (step3)

構築立坑で移動するトンネルを構築する。

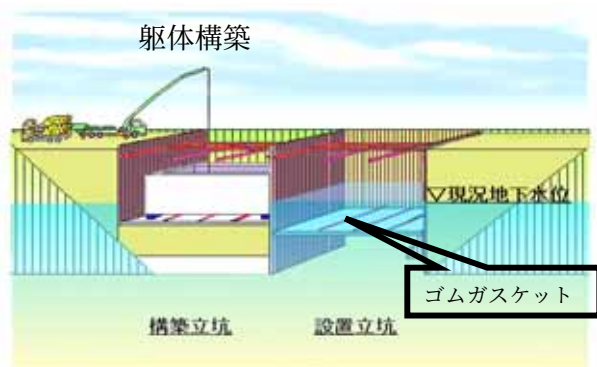


図-10 移動する躯体の構築(step3)

移動するトンネル躯体の構築は、厚さ 6mm の鋼板にジベル筋を溶接して組立てて「鋼殻」を形成する。この鋼殻を外型枠としてトンネルを構築した。設置立坑は、基礎コンクリートを水中不分離コンクリートで施工した後、トンネル躯体両端の設置位置に「ゴムガスケット」をセットし、トンネル躯体を所定の位置に着底させた。なお、トンネルが完成した段階で、外型枠の鋼殻に電気防食を施しトンネル躯体の防水を行った。

(6) 注水、鋼矢板切断工 (step4)

立坑内への注水の前に、移動する躯体の両端に止水用の仮壁（バルクヘッド）を設置した後、構築立坑と設置立坑の間にある間仕切り用鋼矢板を基礎コンクリートの位置で切断した。



図-11 注水・鋼矢板切断工(step4)

(7) 浮上・移動工 (step5)

移動するトンネル躯体は、下床版と側壁の一部を構築して移動することとした。

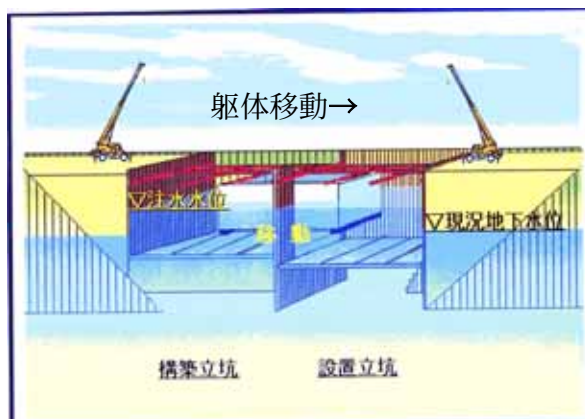


図-12 浮上・移動工(step5)

移動するトンネル躯体の浮上高断面は、移動時期における立坑外側の地下水位を想定し、躯体を安全・確実に移動させるため（60cm）とした。また、移動にはチルホールを使用した。



写真-1 躯体浮上状況



写真-2 チルホールによる躯体牽引状況

(8)移動、着底工 (step6)

トンネル躯体の着底方法は、安全かつ着実に施工するため、立坑内の水位を徐々に低下させる方法とした。

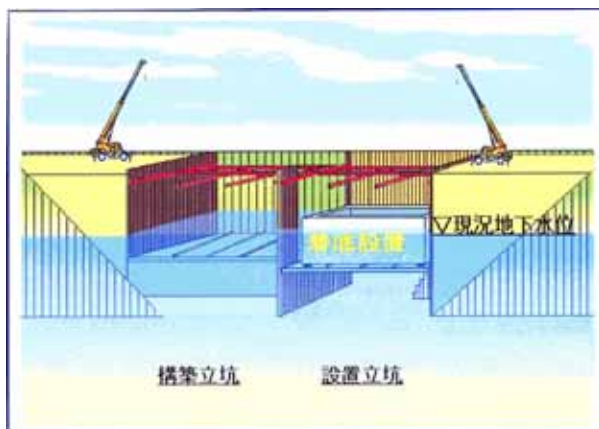


図-13 移動・着底工(step6)

所定の位置に着底したことを確認した後、トンネル躯体下部と基礎コンクリートの隙間を水中不分離モルタルで充填し固定した。

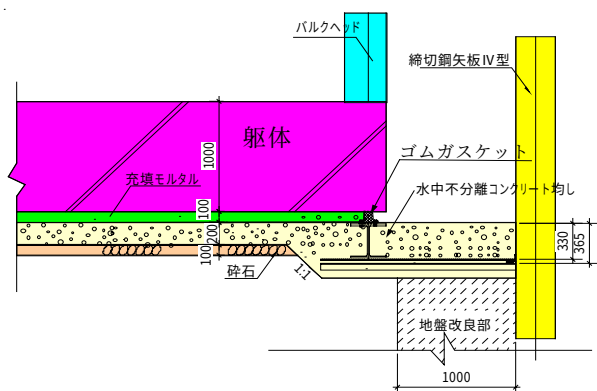


図-14 モルタル充填詳細図

(9)出来形管理 (設置位置の計測管理)

出来形管理として、躯体着底後に座標確認を行った。設置精度は表-1 に示すとおりである。

表-1 施工精度

	中心線のずれ		基準高
	道路延長方向	道路直角方向	
18・19BL	2mm	2mm	-2mm
21BL	7mm	4mm	-2mm
管理値(施工管理基準)	±30mm	±30mm	±30mm

(10)止水コンクリート工・埋戻し工 (step7)

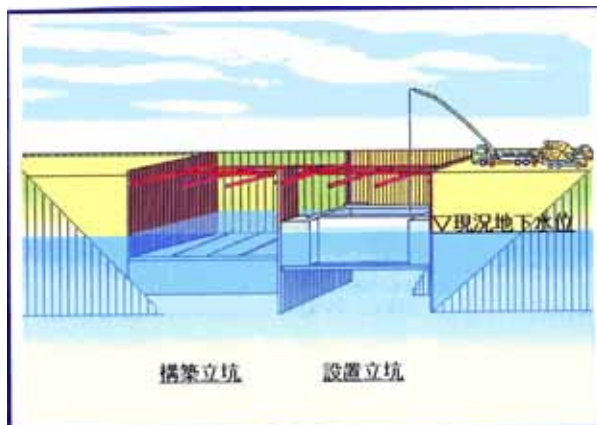


図-15 止水コンクリート工・埋戻し工(step7)

トンネル躯体着底後、躯体の四隅に止水工を施す。その後、設置立坑内の水を排出しドライ状態にしてから、埋戻しを行う。止コンクリートは、水中不分離コンクリートを使用し、設置立坑の周辺地下水位より+50 cmの高さまで設置することとした。

(11)トンネル躯体構築工 (step8)

構築及び設置立坑内の排水を行い、立坑内をドライ状態にした後、トンネル躯体構築を行った。

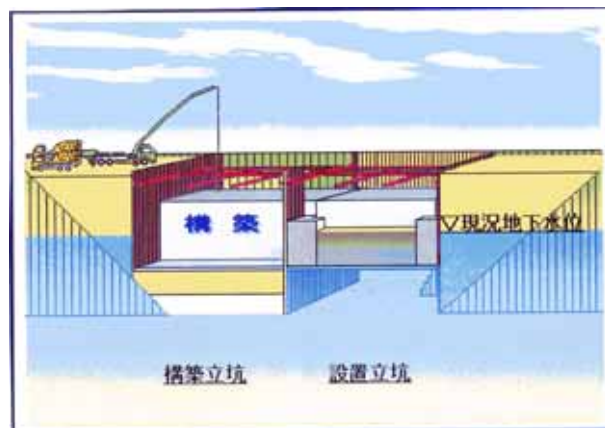


図-16 トンネル躯体構築工(step8)

設置立坑では、移動したトンネル躯体を固定し、止水工を施工した後、残りの躯体部分を構築した。

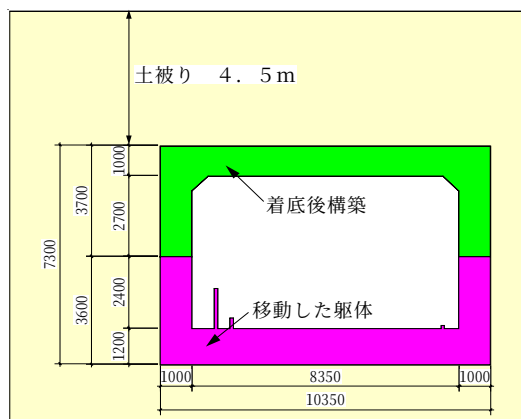


図-17 設置立坑の構築断面図

(12)鋼矢板引抜き工 (step9)

トンネル躯体が出来上がり埋戻した後、設置立坑に施工した土留め用鋼矢板と構築及び設置立坑に隣接するブロックに設置した間仕切り用鋼矢板を引抜くことにより、トンネル本体の下に地下水が通水する空間を確保する。

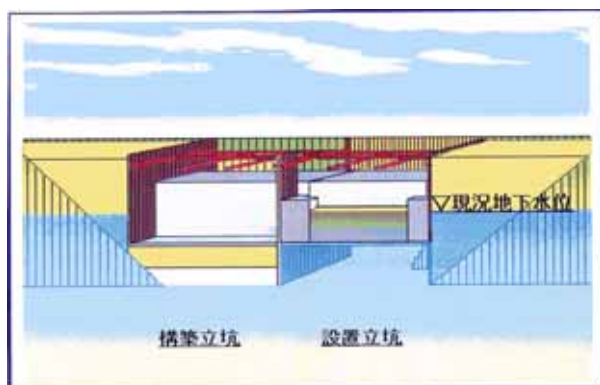


図-18 鋼矢板引抜き工(step9)

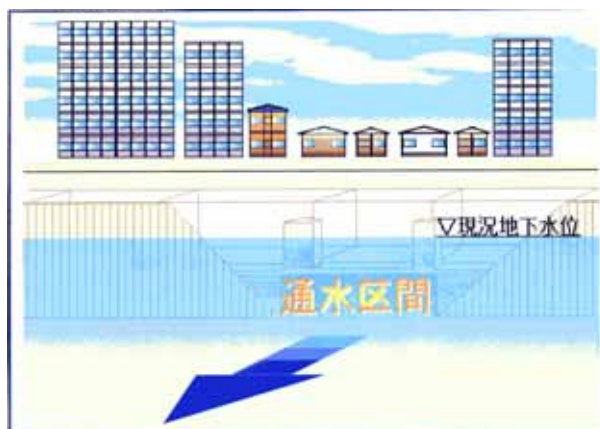


図-19 通水対策トンネル完成図

6.周辺地盤への影響

設置立坑に施工した土留め用鋼矢板の変位は、トンネル躯体を移動させるため、3段目の切梁をはずしてから、トンネル躯体が完成し埋戻しが終わるまでの期間で最大になると予想された。施工中の最大水平変位量は13～14mmであり、計画値の20mmより小さく、現地において確認した結果、周辺地盤では沈下などの異常はなかった。

7.おわりに

本工法では、住宅密集地で施工を行うことから、周辺の居住環境の悪化を防ぐため、地盤変動などの異常を検値するための計測管理を充実させた。特に周辺地下水位による立坑内水位のチェックは重要項目として計測した。

現在、埋戻し施工中で鋼矢板を残置している状態であるが、現在の地下水位差は80cmであり当初目標の地下水位低下1mに対して十分保全の役割を発揮しており、今後施工の鋼矢板引抜きにより、さらなる水位回復が見込まれている。

また、経済性、施工期間などについて、環8の現場条件や施工条件等の諸条件を検討した結果から評価すると、在来工法（非開削工法など）に比べ有利な部分が多くあった。このため、地下水位の高い箇所においてトンネルや共同溝、人工河川のような同一形状で連続して長い構造物を築造する場合、本工法の適用も考えられる。

本工法は、新たな地下水涵養技術を開発したもので、地下構造物による地下水流動阻害の発生が予想される地区や制約の多い都市部などで採用され地下水保全効果が発揮されることが期待される。

参考文献

- 1) 島田剛ほか：地下水保全対策として採用した水中躯体移動設置工法（陸上沈埋工法）の施工，地下水地盤環境に関するシンポジウム 2004，pp.1-8，2004.