

開削工事における新しい取り組みについて

亀ヶ谷勲¹・上田明生²・工藤忠³・富井孝喜²・日野雅夫³・今中康貴³

¹正会員 首都高速道路公団 池袋工事事務所 (〒171-0021 東京都豊島区西池袋 5-13-13)

²正会員 大林・青木・大日本 JV (〒161-0032 東京都新宿区中落合 2-7-8 エビル 1F)

³正会員 工修 大林・青木・大日本 JV (〒161-0032 東京都新宿区中落合 2-7-8 エビル 1F)

市街地における開削工事では、地下水に起因するトラブルの防止が重要な課題である。本工事(SJ52 工区(1・2-1)トンネル工事)では、3 種類の工法(SMW 工法, TRD 工法, CRM 工法)で山留め壁を施工しており、止水性を含めた品質の確認を行った。また、山留め壁隅角部からの出水(漏水)防止対策として鋼材補強を行い、開削工事の補助工法として併用するディープウェル(以下 DW)からの地下水の下水放流量低減対策としてリチャージウェル(以下 RW)を用いた効果的な地下水処理システムの構築を図った。地下水を下水道に放流した場合、下水道使用料が高額となることから、揚水した地下水に混入した土粒子や錆等を除去することが可能な「目詰まり防止装置」の開発を行い、一般には数ヶ月といわれる RW 機能の延命を図り、効率的な地下水処理システムを構築した。

キーワード：開削工法，地下水，隅角部，ディープウェル，リチャージウェル

1. はじめに

首都高速中央環状新宿線は、東京都目黒区青葉台四丁目から板橋区熊野町まで、主に山手通りに沿ってトンネル構造で構築される延長約 11km の自動車専用道路である(図 - 1)。当工区は、中央環状新宿線のうち、新目白通りと山手通りの交差点の北約 50m(新宿区中落合二丁目、三丁目)から北方向に工事延長約 130m にわたり、開削工法で山手通り直下に中落合換気所を築造する工事である。

本工事では、3 種類の工法(SMW 工法, TRD 工法, CRM 工法)で施工した山留め壁の止水性を含めた品質確認を行い、山留め壁隅角部からの出水(漏水)防止対策として、隅角部への鋼材補強を行った。また、開削工事の補助工法として地下水位低下工法が併用されているが、地下水を下水に放流した場合、下水道使用料が高額となることから、揚水した地下水に混入した土粒子や錆等をろ過することが可能な「目詰まり防止装置」の開発を行い、一般には数ヶ月といわれる RW の機能の延命を図り、効率的な下水処理システムを構築した。



図 - 1 首都高速中央環状新宿線路線図

2.3 種類の土留め壁の品質について

本工事では、設計条件、施工条件の違いにより、3種類の工法により土留め壁を施工した。各土留め壁の施工範囲を図-2に示す。CRM工法は将来シールドと接続するため芯材にH-900×300が必要となることから採用された。この他の区間は当初SMW工法で計画されていたが、道路切り回しの関係上SMW工法では作業ヤードが確保できないため、一部狭隘型に改良したTRD工法にて施工した。

表-1より、今回施工した地中連続壁は、いずれの工

法においても管理値を上回る結果が得られた。まず精度については、CRMが最も高く、SMWとTRDはほぼ同程度であった。CRMはRC連続壁の施工精度を継承していると言う工法の特長から、高精度の連続壁の造成が行われたと言える。次に強度については、SMWおよびTRDは原位置土との攪拌、CRMは施工ヤードの関係上プラントが設置できなかったため、流動化処理土を打設したが、いずれの工法においても良好な結果が得られた。今回事後の連続壁調査ボーリングを行った結果、造成された連続壁の透水係数は非常に小さく、良好な止水性が得られていることが確認できた。

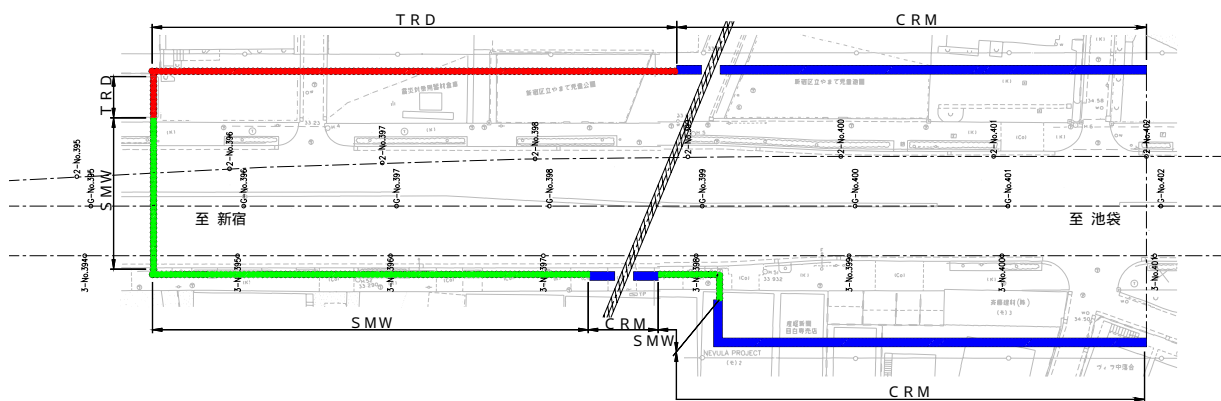


図-2 施工範囲図

表-1 各土留め壁の概要および品質比較

工法名		S M W Soil Mixing Wall			T R D Trench cutting Re-mixing Deep wall method			C R M Continuous walls using Recycled Mud		
工法概要		原位置土を削孔すると同時にセメント系懸濁液と混合し、ソイルセメント化した壁体を造成する。			カッターポストを水平方向に移動しながら掘削を行い、固化液と原位置土を混合攪拌して壁を造成する。			RC連続地中壁で使用する掘削機を用い、掘削完了後は泥土モルタルを打設して壁を造成する。		
土留壁芯材の鉛直性	掘削時	先行削孔時計測器で測定、造成時は計測無し。		101 mm (1/473)	先行掘削時、造成時とも、カッターポスト内の計測器で測定		66.5 mm (1/699)	掘削時計測器で測定		35.2 mm (1/1337)
	芯材	土留め壁 直角方向	実測値 管理値	64 mm ± 130 mm	土留め壁 直角方向	実測値 管理値	51 mm ± 130 mm	土留め壁 直角方向	実測値 管理値	19 mm ± 130 mm
一軸圧縮強度	ウェットサンプ リング (28日)		1.05 (N/mm ²)		ウェットサンプ リング (28日)		1.91 (N/mm ²)	現場圧入試験 (28日)		1.55 (N/mm ²)
	調査ボーリング (274日)		4.32 (N/mm ²)		調査ボーリング (42日)		2.75 (N/mm ²)	調査ボーリング (146日)		2.19 (N/mm ²)
	管理値		0.5 (N/mm ²)		管理値		0.5 (N/mm ²)	管理値		0.5 (N/mm ²)
透水係数 (cm/sec)	調査ボーリング (274日)		2.62 × 10 ⁻⁸		調査ボーリング (42日)		2.46 × 10 ⁻⁸	調査ボーリング (146日)		3.82 × 10 ⁻⁸
	管理値		1.00 × 10 ⁻⁶		管理値		1.00 × 10 ⁻⁶	管理値		1.00 × 10 ⁻⁶
施工完了写真										

3．山留め壁の隅角部補強

(1) 概要

柱列式連続地中壁などの山留め壁隅角部(出隅・入隅)から出水(漏水)する事が度々報告されている．これは山留め壁背面に作用する側圧によって応力が隅角部に集中し，ソイルセメントにクラックが発生するために起こる現象である．

しかしながら，事前に隅角部の補強を行う例は少なく，実際に出水(漏水)が発生してから薬液注入などで止水対策を行うケースがほとんどである．一方，山留め壁の設計検討においても，山留め壁の鉛直断面内での検討は行うものの，水平断面内での検討を行う例は非常にまれである．

本工事では，設計段階において山留め壁の水平断面内での挙動検討を行い，事前に隅角部の補強を行うことで十分な止水効果を得ることが出来た．隅角部補強位置を図 - 3 および図 - 4 に，補強材の構造を図 - 5 に，補強鋼材設置状況を写真 - 1 に示す．

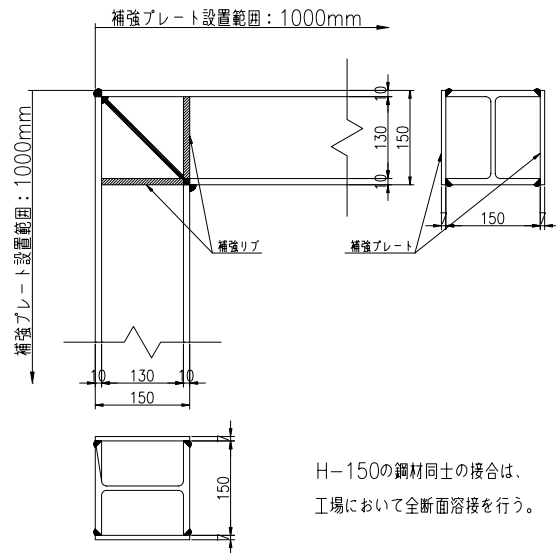


図 - 5 補強材構造



写真 - 1 補強鋼材設置状況

(2) 検討方法

図 - 6 に解析モデルを示す．山留め壁隅角部を水平方向に切断したモデルで，地山側から単位側圧を作用させ，掘削側からは切梁腹起しに相当する分布バネを設置し FRAME 解析を行った．

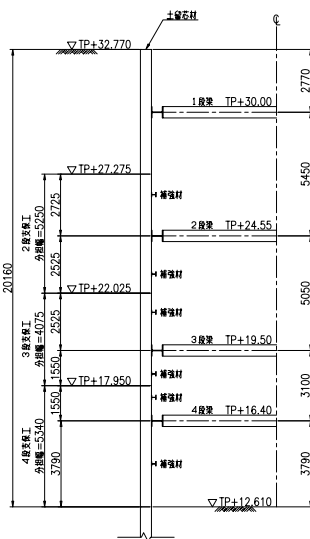


図 - 3 補強鋼材配置断面

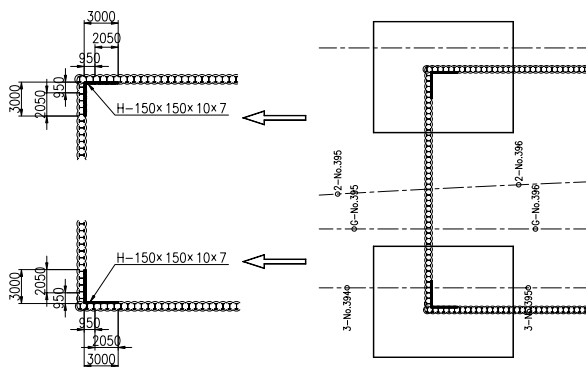


図 - 4 隅角部補強材設置位置

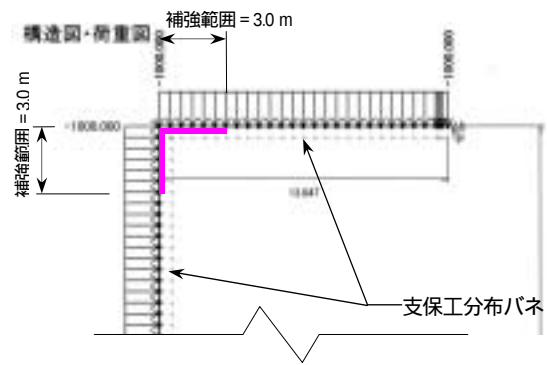


図 - 6 解析モデル

検討の結果、隅角部からそれぞれ3.0mの範囲に応力集中が認められたため、この範囲に補強材を設置することとした。

また、鉛直方向の設置段数の決定方法については、山留め壁スパン中央部の変位量が増加することによって、山留め壁隅角部の平面応力が増加することから、この平面応力の増分に対して十分な耐力を有する補強材を、着目する支保工が分担する範囲に対して、図-3に示すように6段設置することとした。

(3) 変形量計測結果

図-7に示す位置の隅角部補強鋼材の変形量を計測した。変形量の計測点は図-8に示すように、補強鋼材の1/4点および端部の2点間である。

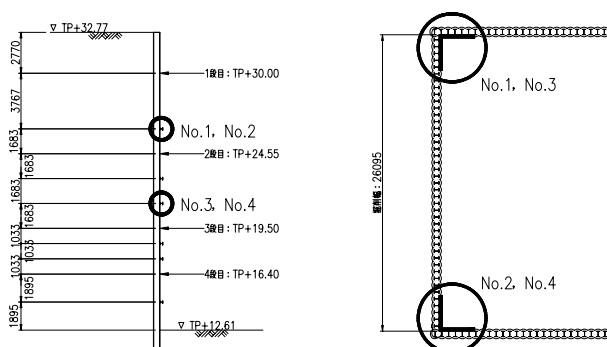


図-7 変形量計測位置

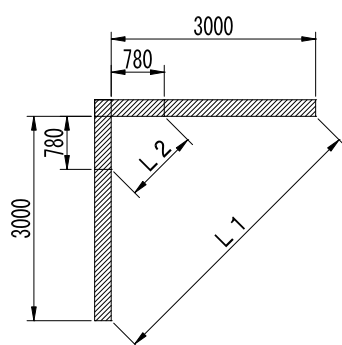


図-8 変形量計測点

補強鋼材の変形量測定は、掘削、支保工設置の各イベント毎に行った。その結果を図-9に示す。

この結果より、鋼材の変形量は掘削が進行するほど大きくなるものの、その数値は1~3mmと小さく、隅角部からの出水(漏水)も確認されなかったことから、良好な結果が得られたといえる。

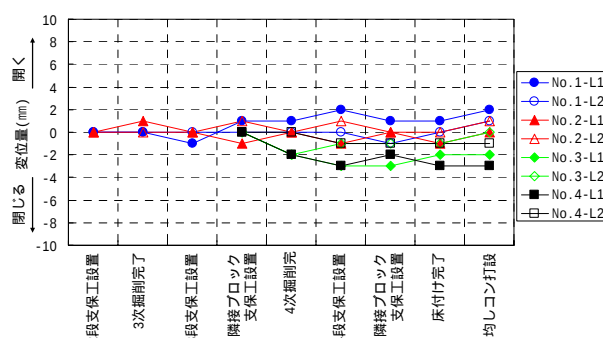


図-9 補強鋼材の変形量

4. リチャージウェル目詰まり防止装置の開発

(1) 水処理システム

本工事では、DWとRWを施工の進捗に応じて使い分けことが可能な地下水処理システムを構築した。当該システムの概要図を図-10に示し、以降に各STEPにおける運用方法を説明する。

a) STEP1

本体部の掘削時においては、シールド通過時の浮き上がりを防止するため、第一砂層よりDWを用いて揚水する。その揚水した地下水は、RWにて処理する。なおRWは山留め壁外部の礫層へ、RWは不透水層以深の第二砂層へそれぞれ復水する。

b) STEP2

シールド通過中においては、山留め壁外側の地下水位を低下させることでシールド切羽圧を低減させるため、山留め壁外側にDWを設置し揚水する。この時“STEP1”のRWに復水させると、地下水位の低下を阻害するおそれがあることから、すべて下水道に放流することとする。

c) STEP3

シールド通過後のシャフト部掘削工事における地下水の流入を防止するために、DWをDWとして稼働させるとともに、不透水層下面に作用する第二砂層の被圧水による揚圧力によって盤ぶくれが生じないように、“STEP1”のRWを第二砂層用のDWとして転用する。

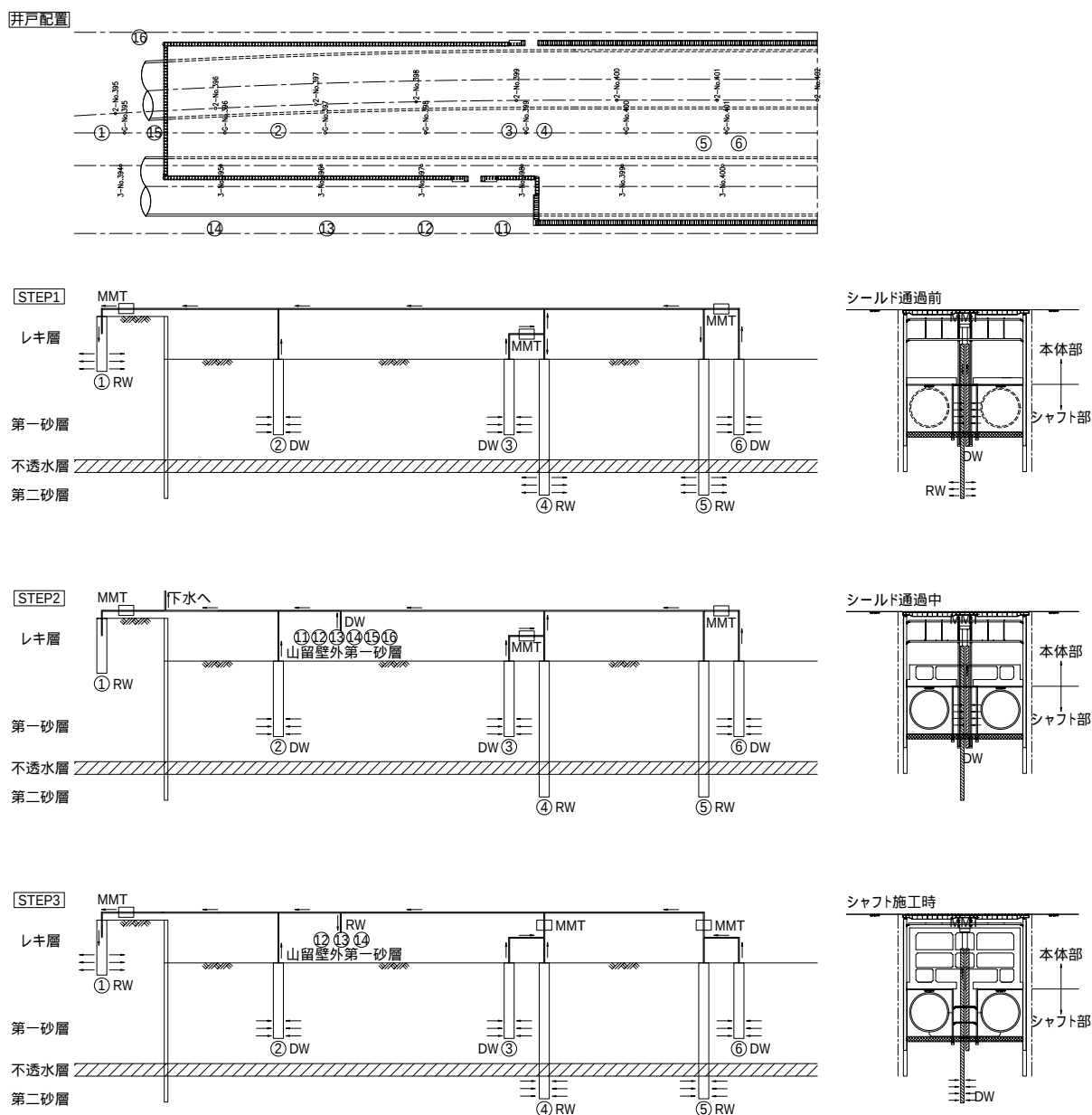


図 - 10 地下水処理システム概要図

こととする。これら DW ～ からの揚水は、RW および“STEP2”での DW ～ を RW として転用し、復水させることとする。

(2) 目詰まり防止装置の開発

一般的な地下水処理システムに用いられる RW については、DW から供給された地下水を地中に復水する際に、地下水に混入した土粒子や鏽等の影響によって目詰まりを起し、復水機能が低下することが知られている。このため当該処理システムが滞りなく有効に稼動するためには、DW の性能維持が重要な要素となる。

このような問題に対して、本工事では RW の性能維持

を図るべく目詰まり防止装置(RW-MMT)を開発し、地下水処理システムに組み込んだ。当該装置は地下水に混入した微粒子を強力なフィルター機能によって除去することが可能であり、RW の性能維持に対して十分な効果を発揮している。

なお、平成 16 年 5 月に RW-MMT を設置し稼動を始めた当該システムにおける平成 17 年 1 月末現在の揚水量、復水量、下水放流量を表 - 2 および図 - 11 に示す。これより、揚水量の約 90% を RW にて処理しており、非常に良好な結果が得られている。

表 - 2 揚水・復水・放流量

	水量(m³)	比率(%)
揚水量	42,309	—
復水量	38,114	90.1
下水放流量	4,195	9.9

平成 17 年 1 月末現在(STEP1)

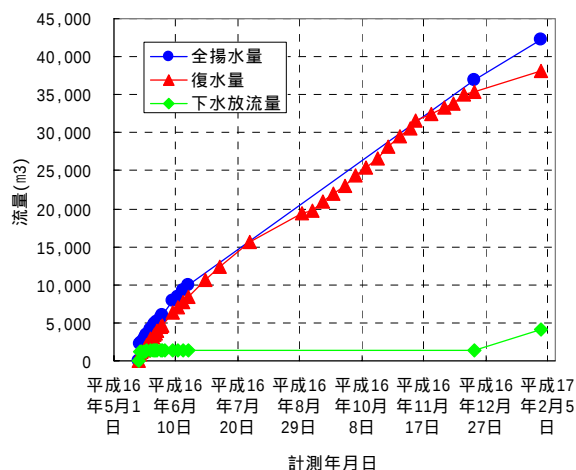


図 - 11 揚水・復水・放流量(STEP1)

(3) 計測管理

表 - 3 および図-12 に示す各種計器を設置し、RW の機能及び目詰まり防止装置の機能監視を行っている。流入口、吐出口の圧力差を計測することで、MMT 内の目詰まりを監視し、メンテナンスの要否を判断する。また RW 内の間隙水圧計より鋼管内水位を計測し、水位が高い場合は、RW が目詰まりしている可能性があるため、洗浄ポンプを稼働させ、鋼管内の目詰まりを除去するシステムとなっている。稼働から 9 ヶ月以上経過しているが、RW の機能低下は全く見られない。

表 - 3 計測機器一覧

記号	計器名	用途
▲	間隙水圧計	井戸内水位の計測
	流量計	揚水量・復水量の計測
	圧力計	目詰まり防止装置の流入・吐出口に各一台ずつ設置し、計器間の圧力差を確認。これにより目詰まり防止装置のメンテナンス要否を判断する。

目詰まり防止装置 (MMT)

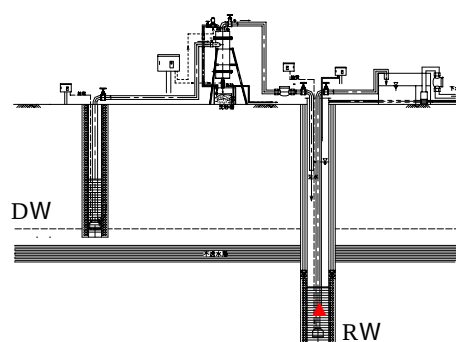


図 - 12 計器配置図

(4) 揚水試験結果

着工前の透水試験結果と、本工事での RW を利用した揚水試験結果を表 - 4 に示す。一般に前者はボーリング孔近傍の局所的な地盤の透水性を、後者は対象土層の平均的な透水性が分かるものとされているが、本工事では両者に $10^1 \sim 10^2$ 倍程度の隔たりがあることが分かった。

表 - 4 透水係数一覧

土層	透水係数 k (cm/sec)	
	ボーリング孔を利用した透水試験結果	揚水試験結果
Mg, Tos, Tog	3.24×10^{-3} $\sim 5.25 \times 10^{-3}$	1.828×10^{-2}
Eds2	2.69×10^{-4} $\sim 1.00 \times 10^{-3}$	1.754×10^{-2}

5. おわりに

今回、土留め壁の品質を追求するため、地中連続壁造成後調査ボーリングを行い、その結果いずれの工法においても良好な結果が得られた。地下水に対する対策として、「隅角部補強」と「目詰まり防止装置を用いた地下水処理システムの構築」を行ったが、現時点ではいずれも良好な結果が得られている。

今後都市部では、地下水位が高い場所での大深度掘削工事が増加することが考えられ、地下水処理の重要性は増していく事が予想される。本工事での実績をもとに、より有効なシステムの構築を行っていきたいと考えている。