

# 狭隘な作業環境下における硬質地盤クリア工法を用いた長尺ハット形鋼矢板の施工報告

## HAT type sheet pile installation into hard ground by Crush Piler within limited space and congested site

掛川 尚郎\*

Hisao Kakegawa

### 要 約

立坑用土留めに長さ 26 m の長尺ハット型鋼矢板を N 値 100 の軟岩地盤に打設した。学校、鉄道高架橋、車道に囲まれた狭隘な現場で、近接する高圧線、通信線、上下水管などの重要埋設物への影響を最小限に抑えてハット型鋼矢板を打設する必要があった。26 m のハット型鋼矢板を直接現場に搬入することが困難であったため、12 m と 14 m に分割して搬入し現場内で溶接接続した。更に設計水圧見直しによる設計変更のため、厚さ 20 mm の鉄板をハット型鋼矢板背面に溶接して剛性を補強した。鋼矢板の直線精度確保が課題であったが、各種の工夫で鋼矢板打設を完了することが出来た。

### 目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工事概要
- § 3. 軟岩地盤への長尺ハット鋼矢板打設
- § 4. 近接構造物及び地下埋設物対応
- § 5. 長尺ハット鋼矢板の現場溶接接続
- § 6. まとめ

### § 1. はじめに

シンガポール公益事業庁（PUB）発注の大深度地下水幹線建設工事は、シンガポールの水処理・供給および国土利用の改善向上を目的とした国家プロジェクトであり、2008年に完了した第一期工事に続きシンガポール南西部を対象とする今回の第二期工事をもって完了する予定である。第二期工事では総延長 100 km に及ぶ幹・支線トンネルと新規下水処理場を建設する（図-1 参照）。

本工事 T10 工区は、7.5 km のトンネルおよび 9 か所に点在する現場において 14 本の立坑を構築するものである。本稿は狭隘な現場かつ近接構造物や地下埋設物に囲まれた立坑の土留工として施工した長尺ハット型鋼矢板の施工実績について報告するものである。

### § 2. 工事概要

- 工 事 名 DTSS2 大深度下水幹線トンネル  
T10 工区工事
- 発 注 者 PUB シンガポール公益事業庁
- 工事場所 シンガポール南西部
- 工 期 2017年12月1日～2024年10月30日
- 工事内容 総延長 7.5 km のトンネルおよび 9 か所に点在する現場で 14 本の立坑構築  
(図-2 参照)



シンガポール

図-1 当該工区位置図

\* 国際事業本部クイーンズタウン（出）

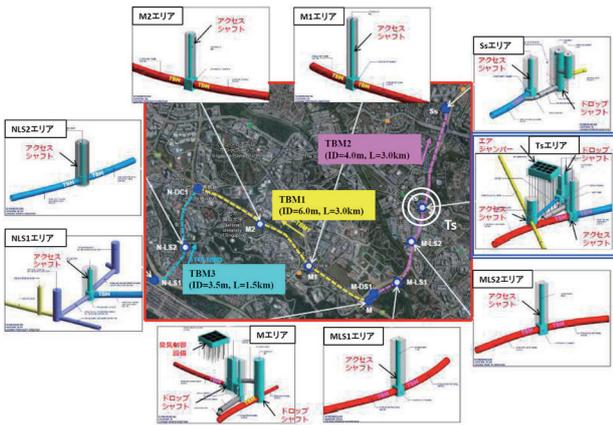


図-2 現場概要図

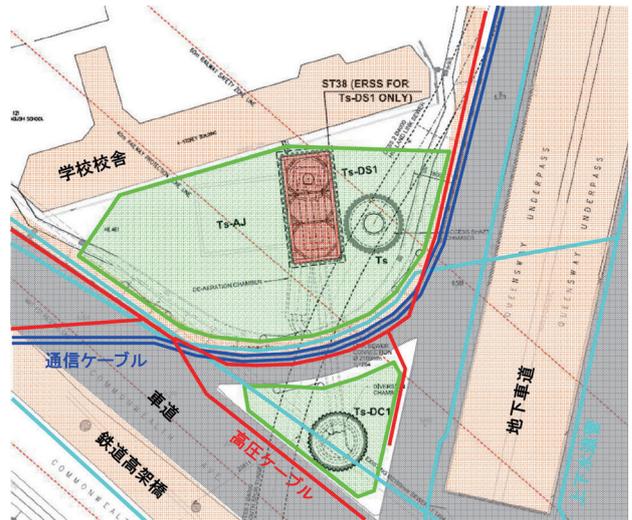


図-3 Ts サイト平面図

2-1 長尺ハット型鋼矢板による土留工事

Ts エリアにある Ts-DS1 立坑の土留について、事前地質調査の結果では深度 15 m から N 値 100 の軟岩となっており、この軟岩地盤に 10 m 程度ハット型鋼矢板を貫入する計画であった。

現場は学校、鉄道高架橋、車道に囲まれた狭隘な場所で、更に高圧線、通信線、上下水管などの重要埋設物にも近接しており、これらへの影響を最小限に抑えて鋼矢板を打設する必要があった(図-3 参照)。使用した鋼矢板は日本製鉄株式会社製のハット型鋼矢板 (NS-SP-50H) で、図-4 に示すように鋼矢板延長が 26 m と長尺なため、12 m と 14 m の鋼矢板を現場で溶接して接続した。

工事入手後に建設局 (BCA) から設計水圧の見直し要求があり、変形量を満たすためにより剛性の高い土留壁が必要となった。通常のハット型鋼矢板に 20 mm の鉄板を矢板背側に溶接して補強した土留め壁を採用することで所要の剛性を満足することができたが、狭隘な作業エリアで施工可能かつシンガポールで調達可能な工法は限定されていた。

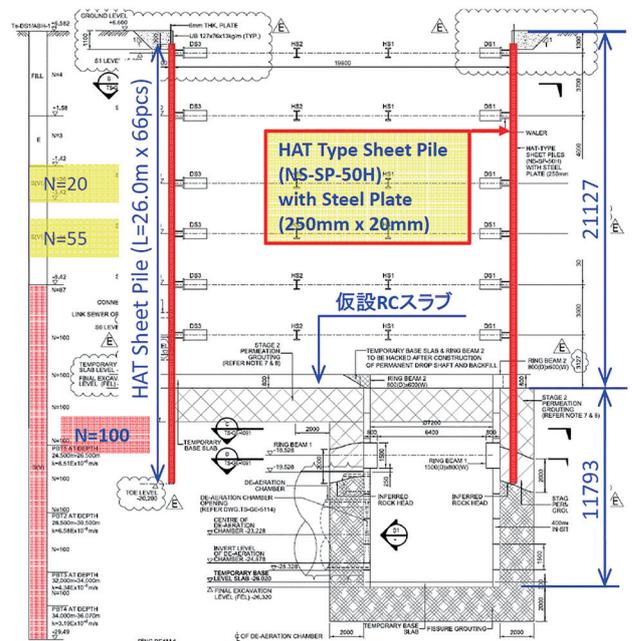


図-4 Ts-DS1 立坑断面図

§ 3. 軟岩地盤への長尺ハット鋼矢板打設

3-1 硬質クリア工法

26 m の長尺ハット型鋼矢板を N 値 100 の軟岩地盤に打設した事例は日本でも数例しか実績がなく、シンガポールでは初めての施工であった。本現場では軟岩地盤掘削および振動抑制に対応した硬質地盤クリア工法を採用した(図-5 参照)。日本から機械を搬入し、更に株式会社技研製作所の指導員・オペレーターが常駐して施工した。この工法ではオーガーで削孔しながら鋼矢板を圧入するため、パイロハンマーによる施工に比べて鋼矢板打設時の振動や騒音を格段に抑制できた。

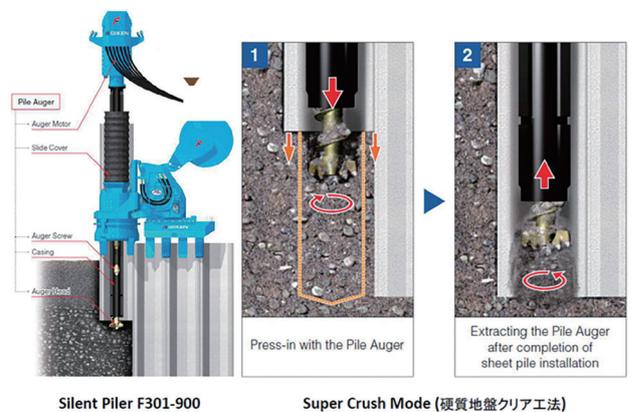


図-5 硬質地盤クリア工法



写真-1 ハット型鋼矢板圧入状況

施工フローを以下に示す。

- Step1: ハット型鋼矢板調達後に設計変更によって鋼矢板天端が地表下 800 mm になったため、床掘りをしてサイレントパイラーを仮設置
- Step2: 設置したサイレントパイラーにカウンターウェイトを載せて仮矢板 (L=12 m, 4 本) を圧入
- Step3: オーガー (L=35 m, 12.7 t) を地表で組立て、120 t クレーンでサイレントパイラーに設置
- Step4: オーガー先端に直径 685 mm のブレードを装着して、鋼矢板のインターロッキング部を先行削孔 (3-2 に詳細記述)
- Step5: Step4 からオーガーを引抜き、先端のブレードを 580 mm に交換して、削孔しながら鋼矢板を同時に圧入。120 t クレーンでオーガーを吊ったまま、60 t クレーンで鋼矢板をオーガーにあてがい圧入する (写真-1 参照)

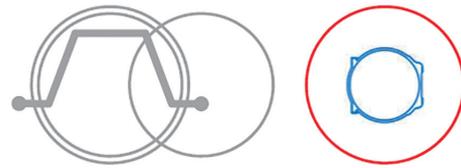
3-2 オーガー先行削孔

本現場では断面積の大きいハット型鋼矢板を軟岩地盤打設するため、圧入時の抵抗が大きくなることが予想された。このため直径 685 mm のブレードで鋼矢板のインターロッキング部を先行削孔した後、オーガー削孔を併用して圧入した。

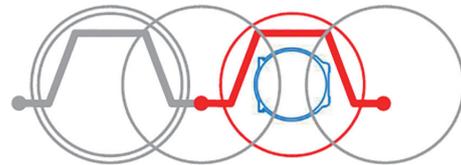
但し、硬質地盤や前述の方法で圧入が困難な場合は、図-6 の CASE2 に示すように鋼矢板設置か所の先行削孔を追加した。

CASE 1 : Normal Ground (土砂地盤)

1. Pre-auger (先行削孔) φ685mm



2. Press-in with auger (オーガー併用圧入) φ580mm

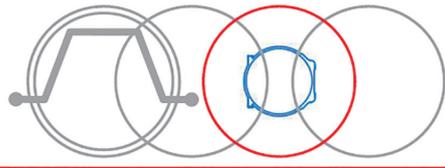


CASE 2 : Hard Ground (硬質地盤)

1. Pre-auger (先行削孔) φ685mm



2. Pre-auger (先行削孔) φ685mm



3. Press-in with auger (オーガー併用圧入) φ580mm

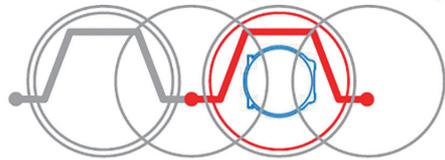


図-6 オーガー先行削孔および併用圧入手順



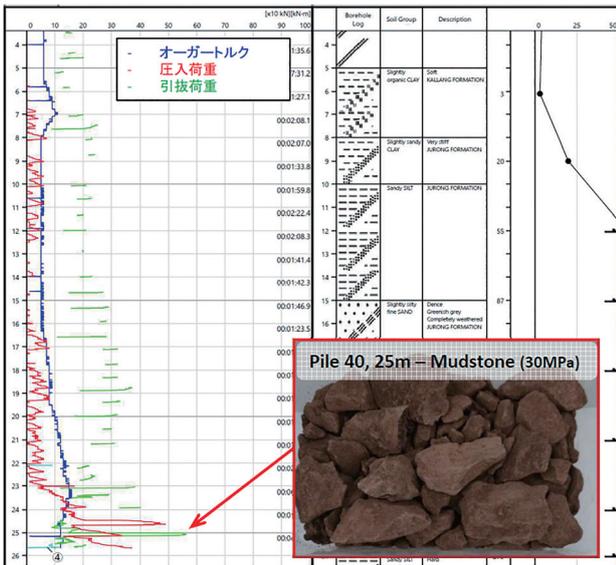
削孔ブレード 685mm(左) & 580mm(右)

先行削孔状況



オーガー併用圧入状況

写真-2 オーガー先行削孔および併用圧入状況



図一七 ハット型鋼矢板圧入データ

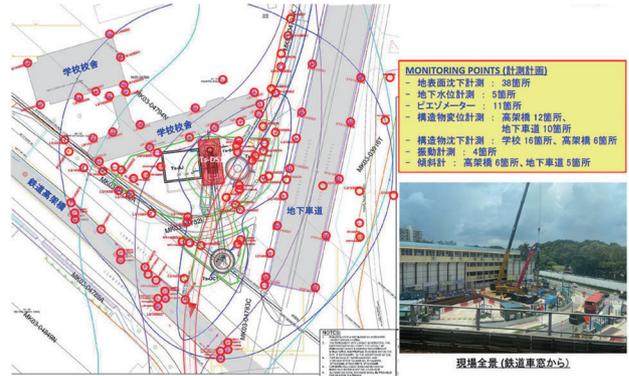
圧入作業は、サイレントパイラーに設置したパネルに各種のデータを表示し、圧入や引抜荷重、オーガートルクなどの情報によって鋼矢板先端の地質や障害物の有無を確認しながら行った。一例として、図一七に示す40番の鋼矢板圧入時のデータをみると、深度25mあたりから圧入・引抜荷重が大きくなっていることがわかる。この位置から採取した試料を確認したところ  $qu = 30 \text{ MPa}$  程度の泥岩であった。

全66本圧入のうち、58か所で追加の先行掘削を行った。先行掘削に要した時間は、削孔に1~1.5時間、引抜に0.5~1時間で最大2.5時間であった。1作業日あたりの標準サイクルは、先行削孔(2.5hr×2回)+圧入(2.5+1.0hr)=8.5hrとなり、日当たりの施工量は先行掘削が2回の場合で1枚、1回の場合で1.5本であった。

オーガーによる先行および並行削孔により硬質地盤であっても鋼矢板を圧入設置することができた。直近の学校校舎との離隔は2.0m程度であったが、干渉やダメージを与えることなくハット型鋼矢板を圧入することができた。騒音についてもクレーンや圧入機パワーバックのエンジン音のみで環境庁(NEA)の騒音基準値を大幅に下回っており、市街地で周辺に居住区があったが夜間や日曜・祝日作業が可能であった。

削孔箇所の地質にもよるが、オーガー削孔時に削孔対象地山の10~20%程度がオーガーケーシングから排土される。ハイウォッシャーで水洗いをしたり、オーガーに剥離剤を塗布するなどしてオーガー開口部にて排土処理を行った。排土量が多く地表に空洞ができる場合には、10mm 碎石で空洞を埋戻した後に鋼矢板圧入を行った。オーガー削孔後の、空いたり緩んだ地盤に長尺のハット型鋼矢板を圧入することとなったため、設置や鉛直精度を確保するために幾度か鋼矢板の打ち直しを行った。

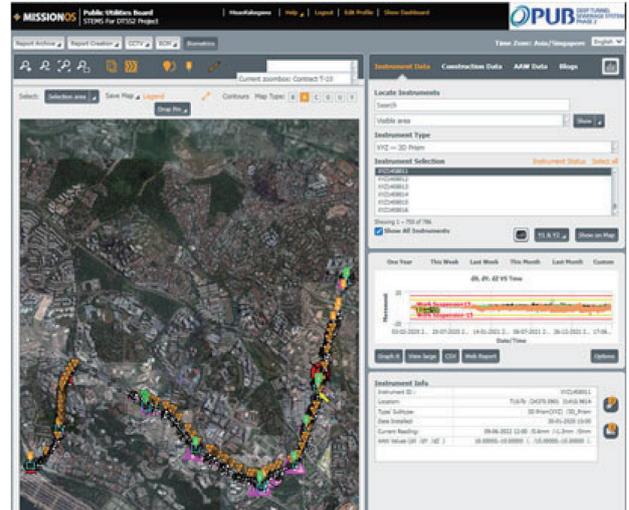
鋼矢板の腹背側ともに緩んだ状態で立坑を掘削することになるため、立坑掘削時の土留変形や鋼矢板背面の緩



図一八 計測計画 (地表面沈下・地下水・構造物)



図一九 計測計画 (地下埋設物)



図一〇 STEMS 管理システム

んだ地盤が水路となって周辺地盤の沈下などの影響が懸念された。オーガー先端が鋼矢板下端より500mm程度突出して削孔するため、特に鋼矢板下端は注意が必要がある。立坑掘削は完了したが、鋼矢板を設置した深度内掘削中の湧水はほとんどなく、鋼矢板設置以深掘削中の湧水量は15l/min程度であった。また最終掘削時の土留変形量は30mm以下であった。

オーガーの長さが20mを超えると、サイレントパイラーで拘束しただけでは自立することができず、オーガ

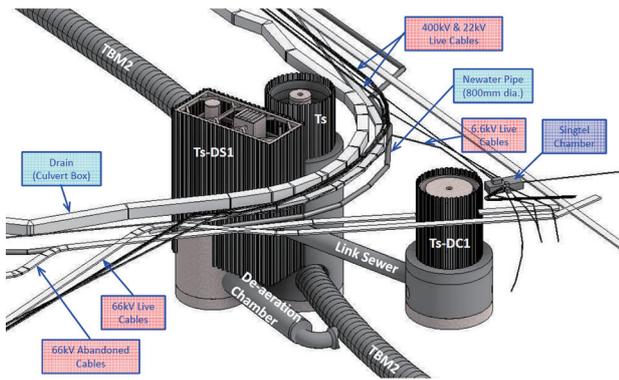


図-11 BIMによる干渉確認

ーを常時吊っておくために相番のクレーンが必要となる。本現場では、120tクレーンでオーガーを吊り、60tクレーンで鋼矢板の溶接接続作業およびサイレントパイラーへの設置を行った。鋼矢板をサイレントパイラーにセットする際、人力で鋼矢板をオーガーケーシングに押し当てる必要があり、鋼矢板とケーシングの間に手指を挟まれる危険がある。本現場では当該作業用の治具を制作し、作業員が鋼矢板に直接触れることなくオーガーケーシングに沿わせながらサイレントパイラーにセットできるようにした。

§ 4. 近接構造物及び地下埋設物対応

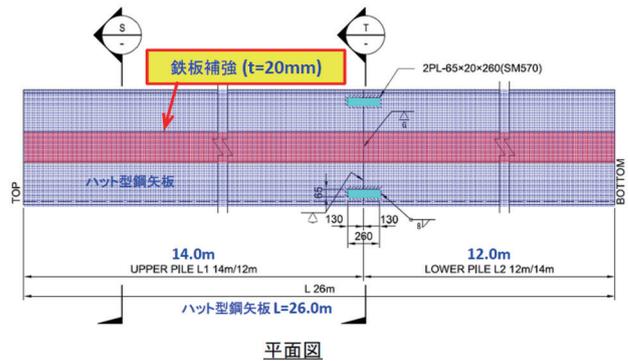
幹線道路交差点に近く重要構造物や埋設物に囲まれた狭隘な現場で、ハット型鋼矢板接続と打設を並行して施工する必要があった。施工中に地下埋設物や近接構造物の沈下等の主要計測値が許容値を超えると工事中断となり、対策工や工事再開許可など建築局の承認を得るまでに時間がかかるため、これらの構造物への影響を最小限に抑えながら施工する必要があった。

計測機器配置図を、図-8、図-9に示す。当該立坑は重要構造物や埋設物に近接するため、図中に赤丸で示すよう計測機器を設置した。リアルタイムモニタリングや日々の計測結果を企業先やコンサルと逐次共有し、挙動を把握することで早期対応に努める体制とした。

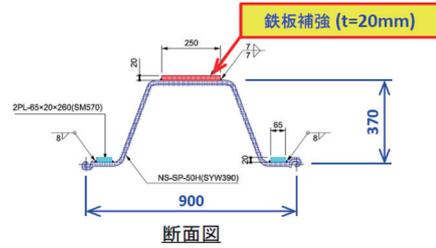
定時計測は別業者が行ったが、全ての計測データはSTEMS：Shaft and Tunnel Excavation Monitoring System (図-10参照)という管理システム上に逐次アップデートされ、企業先やコンサルなど関係者が情報を逐次共有できるシステムとなっている。計測値が許容値を超えた際には、即時にSNSによる通知があり迅速な対応が可能となる。現場では計測値情報に作業内容や周辺情報を追加し、日々所内で情報を共有し作業方針や対応策を協議・確認した。

§ 5. 長尺ハット鋼矢板の現場溶接接続

近接構造物や埋設物との離隔が狭いため鋼矢板を精度



平面図



断面図

図-12 ハット型鋼矢板形状



写真-3 鋼矢板寸法計測状況

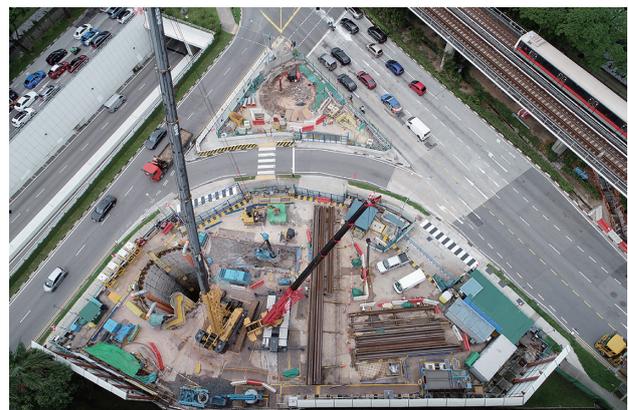


写真-4 施工時現場航空写真

良く圧入する必要があり、ハット型鋼矢板を溶接接続する際に直線精度を確保することも課題のひとつであった。BIMによる干渉確認(図-11参照)や鋼矢板設置位置の測量、圧入時の鉛直度確認などにより管理した。

ハット型鋼矢板の断面は材料毎に微妙な違いがあり、形状や寸法に違いがある材料を接続すると、26 mに接続した鋼矢板の直線性が保持できず設置精度に影響を及ぼし、あるいは圧入が困難になることがあった。そこで接続前に全数検測を行い、形状寸法が合致するあるいは近い矢板同士を選定する必要があった（写真—3 参照）。日本製鉄株式会社の技術者と協議を重ね現場で検査方法を確立し、検査シートを作成して接続前の矢板検査や溶接検査を行い管理した。

狭隘な作業エリアで、鋼矢板の搬入・保管・接続溶接作業、クレーン2台を含むその他重機械を使用している鋼矢板圧入作業を並行して行う必要があったため、施工ステップやか所毎に作業エリアや資機材配置および搬入計画を立てて施工した（写真—4 参照）。

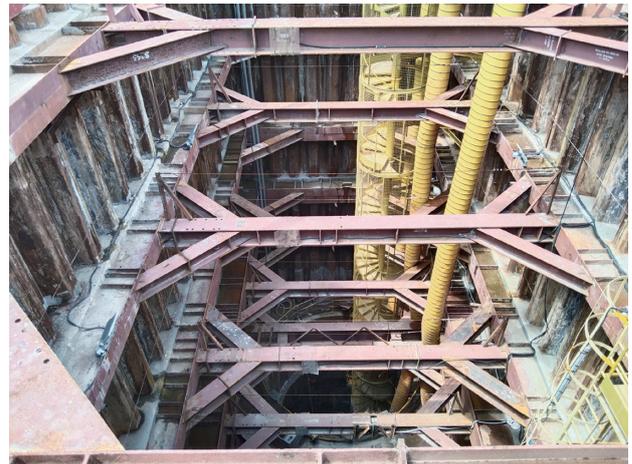
ハット型鋼矢板について、設計上剛性の高い土留壁が要求される場合、更に本現場のように作業エリアや周辺構造物・埋設物などの制約がある場合、硬質クリア工法によるハット型鋼矢板の圧入は有効であった。コストや工期も地中連続壁や柱列杭などの工法に比べて低減できる。本現場では設計変更により20 mmの鉄板を追加溶接したが、これにより同型のハット型鋼矢板に比べて33%剛性をあげることができた（図—12 参照）。

契約上の要求事項でもあるためコーナーパイルを設置して完全な締切りとする計画であった。当該ハット型鋼矢板が特殊であったため、発注後に製作して日本から輸入することになり、鋼矢板搬入まで3か月を要した。コーナーパイル用に鋼矢板を追加で搬入し、現場で切断した継手部を別の鋼矢板の背側に溶接してコーナーパイルを製作する予定であったが、設計変更で追加した20 mmの鉄板を鋼矢板背面に溶接したことにより、オーガーケーシングと継手を含む鋼矢板が干渉することとなった。このためにコーナーパイルを設置することが出来ず、代替として土留隅角部にできた鋼矢板の隙間に止水注入を行い、更に掘削中この隙間に10 mm厚の鉄板を溶接して閉塞することで隙間からの湧水や土砂流入を防止することとした。

## §6. まとめ

以下にまとめを示す。

- ・オーガーによる先行削孔を追加することで、26 mの長尺ハット型鋼矢板をN値100の軟岩地盤に打設することができた。



写真—5 立坑掘削完了状況



写真—6 立坑下端横坑掘削状況

- ・周辺構造物、埋設物、地表面や地下水位などをきめ細かく計測し適切に対応することで、周辺環境に影響を与えることなくハット型鋼矢板を打設することが出来た。
- ・ハット型鋼矢板の形状寸法を全数検測しマッチングすることで、溶接接続したハット型鋼矢板の直線精度を確保し、鋼矢板の寸法違いによる打設不具合を防止できた。
- ・2023年2月現在立坑掘削は完了し、立坑下端で下水幹線トンネルに接続する横坑を掘削中である。立坑現状を写真—5、写真—6に示す。

謝辞。本報文の作成にあたり、終始適切な助言を賜り、また丁寧な指導して下さいました関係者各位に感謝の意を表します。