

# 都市部において本体兼用の鋼製地中連続壁（工法Ⅱ）を用いた開削トンネル工事に関する報告

## Report of NS-BOX Diaphragm Wall (Type-II) Served as Structure for Cut-and-Cover Tunnel in Urban Area

笥 哲志\*      中岡 淳\*  
 Satoshi Kakehi      Atsushi Nakaoka  
 清田 奨\*      迫 綾子\*\*  
 Susumu Kiyota      Ayako Sako

### 要 約

当社で施工実績の少ない鋼製連続地中壁工法（工法Ⅱ）を採用した都市部での開削トンネル施工時の留意事項について報告する。

### 目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工事概要
- § 3. 土質概要
- § 4. 鋼製地中連続壁の施工
- § 5. 施工時における創意工夫
- § 6. おわりに

### § 1. はじめに

環状第2号線は、江東区有明を起点とし、中央区、港区などを経て千代田区神田佐久間町を終点とする全長約14kmの都市計画道路である。この「環状第2号線」は全線開通により、①臨海部と都心部を結ぶ交通・物流ネットワークの強化や渋滞緩和など地域交通の円滑化、②臨海地区の避難ルートの多重化による防災性の向上、といった整備効果が期待されるとともに、2020年に開催される東京オリンピック・パラリンピックにおいて、晴海の選手村とオリンピックスタジアムを結ぶ重要な道路に位置付けられている（図-1）。

本工事は、「環状第2号線」のうち、新大橋通り（中央区築地五丁目付近）の下部を開削工法にて延長約140mの地下トンネル（ボックスカルバート）を築造するものである（写真-1）。施工箇所は、近隣に築地青果市場、浜離宮庭園や多数のオフィスビルが立地し、交通量や歩行者が多い場所である。



図-1 環状第2号線全体図



写真-1 施工箇所全景

\* 関東土木(支)環2新大橋(出)

\*\* 関東土木(支)環2新大橋(出)(現:本社土木計画部)

§ 2. 工事概要

工事件名：環 2 地下トンネル（仮称）築造工事  
 （23－環 2 新大橋工区）  
 工事場所：東京都中央区築地五丁目地内  
 工 期：平成 24 年 3 月 12 日～平成 27 年 12 月 10 日  
 発 注 者：東京都  
 工事延長：143.40 m（幅員 19.19 m～28.95 m）  
 構築延長：135.85 m（ボックス構造 8 BL）  
 山 留 工：鋼製連続地中壁 292 本（GH-R 500～700 mm）  
 柱列式連続地中壁（SMW）工 197 本

§ 3. 土質概要

図－ 2 に土層と施工範囲の関係図を示す。

当該地盤の地質は、上位より「現世」の表土（埋立層）、「沖積層」である有楽町層（七号地層を含む）、「洪積層」である東京層（東京礫層を含む）と江戸川層の順に分布している。GL－ 2 m 付近まで存在する埋立層は N 値 3～10 程度であり、礫、砂、粘土、碎石、コンクリート殻等が混入している。GL－ 4.6 m 付近まで存在する有楽町層（Yu-c）は N 値 2～6 程度であり、構成土質は有機質粘土が主体で、粘性が強い。GL－ 4.6 m～17 m 付近まで存在する東京層（To-s1、To-c2）は構成土質が不安定で、砂、細砂、砂質シルト、粘土質砂など様々な地層で構成されている。上部の粘土主体の層は N 値 10～20 程度、下部の砂層は N 値 30～50 程度である。

地下水位（孔内水位）は GL－ 1.2 m～2.5 m であり、設計水位は A.P + 2.5 m（GL－ 1.2 m）と設定している。受注後に追加ボーリングを行い、東京層下部（To-s2）の被圧水位を計測した結果、A.P－ 3.0 m（GL－ 6.7 m）の被圧水位であった。

§ 4. 鋼製地中連続壁の施工

4－ 1 鋼製地中連続壁工法

(1) 鋼製連壁の特徴

本工事の一般部の土留壁は柱列式連続地中壁（以下、SMW）が採用されているが、一部において民地との離隔が無く、用地制限の問題から鋼製地中連続壁が採用されている。鋼製地中連続壁の特徴を以下に示す。

- ① 本体利用することにより、用地制限を緩和
- ② 高い断面性能を有し、薄壁化が可能
- ③ 嵌合継手により高い止水性を有する工法

(2) 「工法－Ⅰ」と「工法－Ⅱ」の違い

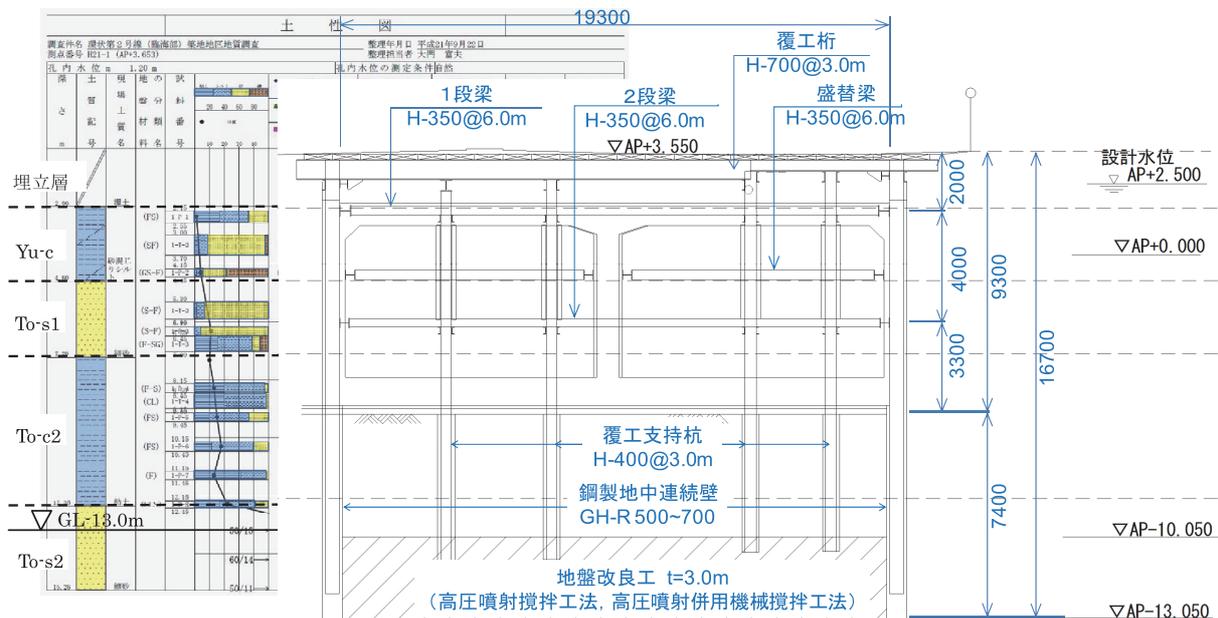
鋼製地中連続壁（以下、鋼製連壁）工法とは、継手を有する H 形状の鋼製連壁部材 NS-BOX を連続して地中に建込み、土留壁（地下壁）を構築する工法である。工法は 2 種類あり、安定液掘削した溝に NS-BOX を相互に連結しながら建込み、建て込み後にコンクリート等を充填して壁体を構築する工法－Ⅰ<sup>1)</sup>と原位置土混合攪拌したソイルセメント壁を造成後に NS-BOX を相互に連結しながら建込み、壁体を構築する工法－Ⅱ<sup>2)</sup>がある。

工法－Ⅱの適用深度は施工深度 60 m 程度までであるが、工法－Ⅰは部材内をコンクリートで充填することで剛性が高くなるため、深度 100 m 程度まで対応可能となる。

本工事は、深度 20 m 程度であり、工法－Ⅰと比べて工法－Ⅱが安価なことから、工法－Ⅱで施工を行った。工法－Ⅰについては、中電安部川での施工実績がある。

(3) 本体構造物との接合

標準断面の配筋図を図－ 3 に示す。鋼製連壁を本体利用するとき、本体構造物の底版と頂版にあたる箇所と鋼製連壁を図－ 4 のように接合する。鋼製連壁にはカブ



図－ 2 施工範囲の土質図

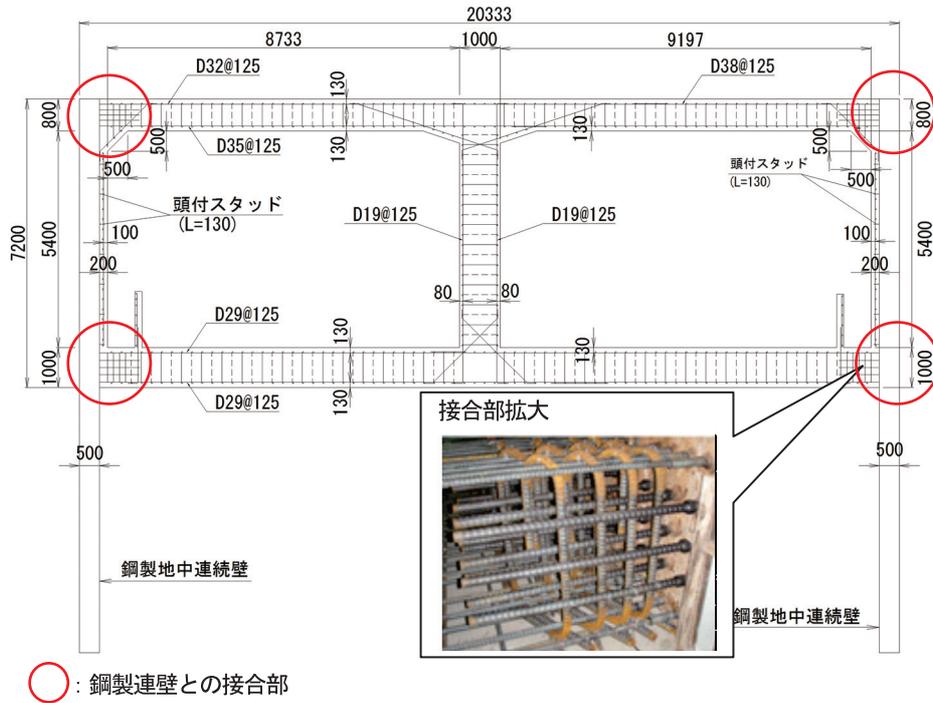


図-3 配筋図

ラー鉄筋が溶接されており、このカプラー鉄筋にネジ鉄筋を接続する。接合部には、曲げ鉄筋とせん断鉄筋を取付ける。曲げ鉄筋が接続されるカプラーの背面には曲げ応力により連壁変形するのを防止するための補強プレートが取り付けられている。

4-2 施工方法

実施工の報告と併せて留意点を以下に示す。

(1) 造成方法の選定及び支持地盤（ガイドウォール）

鋼製連壁の施工には、TRD（Trench cutting Re-mixing Deep wall）工法とCSM（Cutter Soil Mixing）工法の2種類の掘削・造成方法がある。

TRD工法は地中に建て込んだカッターポストを横方向に連続的に移動させて、カッターチェーンに取付けたカッタービットで地盤を掘削しながら、鉛直方向に固化液と現位置土を混合・攪拌し、壁状のソイルセメント壁体を造成する工法である。CSM工法は、水平多軸カッターを用いて土とセメント系懸濁液を現位置で混合・攪拌し矩形のソイルセメント壁体を造成する工法である。

本工事では、埋設管があることや撤去されてない支障物の存在も考えられ、TRD工法の連続して造成ができる利点が活かさないことから、CSM工法を採用した。掘削機械に関しては、通常の3点式の削孔機械より空頭も作業スペースも縮小できるクアトロサイドカッター（写真-2）を使用した。

使用する重機が大型のため、地盤の表層改良とガイドウォールでの施工（図-5）が想定されたが、施工箇所には堅固な路盤が存在（写真-3）していたので、改良を必要とせず、さらに舗装版をガイドウォールとして代

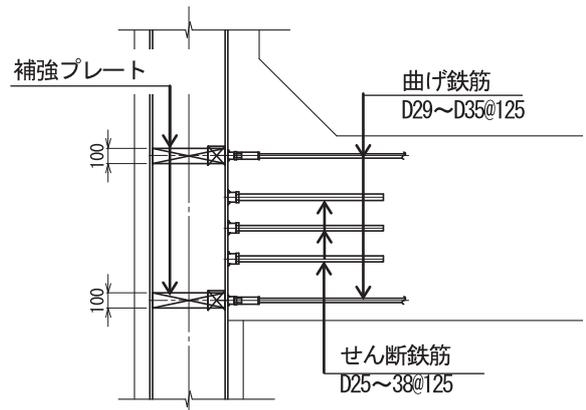


図-4 接合部詳細図



写真-2 クアトロサイドカッター

用できたので、ガイドウォールも設置せずに建て込みを行えた。

(2) 造成（溝壁の安定確保）

掘削固化液の配合を決定するため、地質調査時に採取した原位置対象土を使用して、試験練りを行った。試験

練りは、セメント添加量などを変えた配合にて固化体を作成し、流動性および強度を測定した。

事前の土質調査結果から、施工対象地盤は粘性土が6割を占めるため、粘性土を対象とした標準配合を基準に検討を行うこととした。試料採取に際して、通常はボーリングをして試料を採取するが、CSM工法は造成時の攪拌性が非常に良いことから、造成時の土質の状態に近づけるため、試料は現地土を攪拌し、その攪拌土を用いた。

試験により、攪拌土の含水比や細粒分含有率等は、土質調査結果の平均値とほぼ同様の性状結果が得られた。結果を基に以下の4点に留意しながら配合を決定した。

- ①地盤の掘削が支障なく行える
- ②固化目標強度は $1.0(\text{N}/\text{mm}^2)$ 、設計強度( $\sigma 28$ )は $1.0(\text{N}/\text{mm}^2)$
- ③目標フロー値(JH)は $120\text{ mm} \times 120\text{ mm} \sim 300\text{ mm} \times 300\text{ mm}$ 程度
- ④目標遅延時間(フロー値(JH)が $100\text{ mm} \times 100\text{ mm}$ 以下になるまでの時間)は5時間程度

配合については、施工時にも現場採取試料にて一軸圧縮試験を行い、適切な配合について随時検討を行った。

施工時は、クアトロサイドカッターの運転席にあるモニターにて掘削固化液の配合量(表-1)、および掘削速度(比較的軟い地盤:  $9.0\text{ m/h}$ 、硬い地盤:  $4.8\text{ m/h}$ )をリアルタイムで確認しながら施工を行った。

(3) 建て込み(継手防護)

工法Ⅱでは、ソイルセメント壁を造成後にNS-BOXを建て込むので、NS-BOX建て込み後、隣接のNS-BOXの建て込みまで一定時間が経過すると、継手部に付着したソイルセメントが硬化し、嵌合継手の効果を十分に発揮できない。

そこで、建て込みの際に継手部に防護管(写真-4、写真-5)を設置しておくことで、継手部へのソイルセメントの入り込みを防止した。ソイルセメントが硬化しても防護管を引抜くことができるように、防護管設置後に引抜き行為を数回行い、縁切りした。

(4) 施工精度

NS-BOXには本体構造物と接合できるように予めカップラーが溶接されており、建て込み精度が低いと(建て込み時に誤差が生じると)床版や頂版のかぶり不足につながるため、建て込み精度は極めて重要である。誤差が生じてカップラー設置箇所の修正を検討しても、カップラー背面には補強プレートが必要で、その補強プレートは建て込み後に設置することはできないことから、建て込み完了後のカップラー設置箇所の修正は不可能となる。

建て込み精度を高めるために、H鋼で組んだ定規材を利用して、平面位置および鉛直精度を確認しながら建て込みを行った。

平面位置は定規材で固定し、鉛直精度は2方向よりトランシットで確認した。高さについては施工実績を考慮して、 $10\text{ mm} \sim 15\text{ mm}$ の上げ越しを行った。

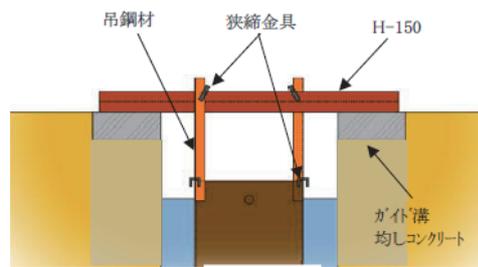


図-5 ガイドウォール一般図



写真-3 現場の路盤状態

表-1 掘削固化液配合

| 対象土量<br>1m <sup>3</sup> あたり | 高炉セメントB種<br>(kg) | 水<br>(kg) | ベントナイト<br>(kg) | 遅延材<br>(kg) |
|-----------------------------|------------------|-----------|----------------|-------------|
|                             |                  | 250       | 700            | 5.0         |



写真-4 C形継手用防護管



写真-5 C形継手用防護管

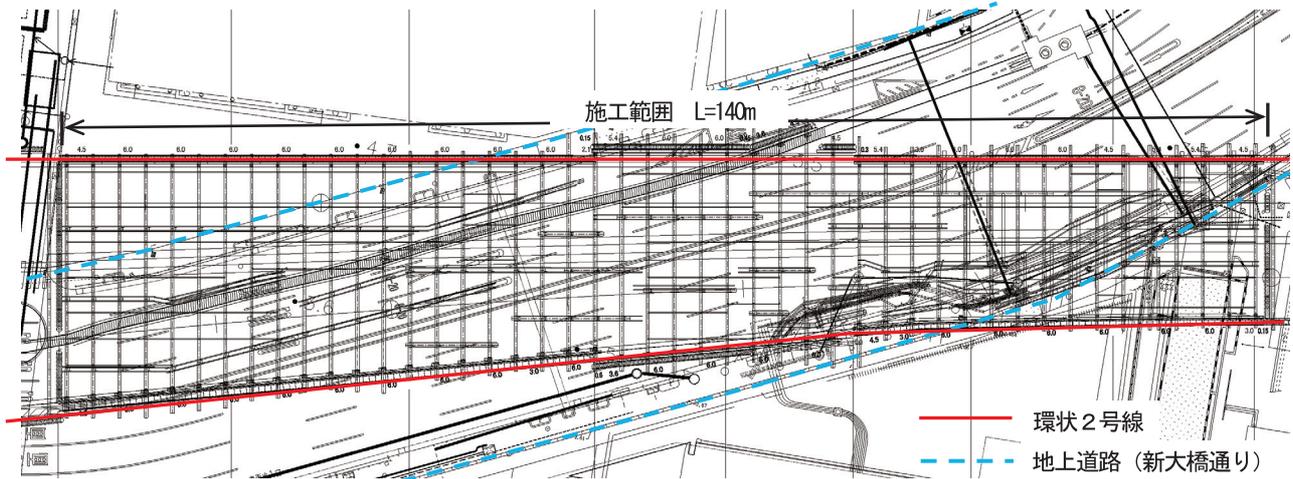


図-6 主桁配置図

さらに、建込み後のソイルセメントが硬化するまでの鋼製連壁部材のズレを抑制するために、ガイド溝に渡した鋼材（H-150）にL-75等を使用して、ブルマンで部材を固定した（写真-6）。ブルマンは24時間以上経過してから撤去し、翌日に隣接箇所を掘削する場合は、隣接箇所の施工完了まで固定を継続した。

鋼製連壁協会では出来形管理基準値を「± 10 mm」に設定しているが、後で底版や頂版の鉄筋を接続することやせん断補強筋の施工等を考えると、実際の施工はさらに厳しい管理が必要であった。本工事では、自主管理値を「± 5 mm」に設定し、自主管理値以内で施工を終えた。



写真-6 NS-BOX 固定状況

することで、平面上の隙間を確保し、施工性の向上を図った。

§5. 施工時における創意工夫

5-1 覆工時における課題

本施工箇所（環状2号線）は供用中の地上道路（新大橋通り）の直下であるが、平面線形的には両者は平行ではない（図-6）。施工時においては地上道路の通行止めは不可能であるため、各施工時（土留壁施工、掘削・土留支保工、躯体構築等）の作業帯及び交通規制範囲を事前にイメージして、作業帯（覆工桁配置）を計画する必要がある。さらに、埋設物が移設されてない場合は、土留壁歯抜け部の欠損防護工、埋設物の吊防護工などが必要となる。

5-2 0段梁覆工桁の採用

周辺構造物への影響を考慮して、原設計では土留壁の許容変位量を 20 mm と設定し、2段梁を追加して、覆工桁と1段梁の間に0.5段梁を設置する土留工の計画であった（計3段支保工）。平面的配置を見ると、覆工桁と0.5段梁、1・2段梁のピッチが異なるため、各桁間に平面上の隙間が無く、路面覆工上での施工が困難と予測された。実施工時においては、覆工桁を切梁の機能を有する構造（0段梁）とし、且つ、切梁と同様のピッチと

5-3 盛替梁（内梁）の設置

コンクリート構造物の構築時、支保工を撤去しながら底版、壁、頂版の3段階に分けて構築する。頂版構築時は1段梁が支障するため、1段梁を撤去する必要があるが、1段梁を撤去することで土留壁の変位量が許容値を満足しないことが懸念された。原設計では支保工撤去時の変位の変動に対して検討が不十分であったため、盛替梁（内梁）の検討を行い、1段梁撤去前に盛替梁（内梁）を設置することで対応した（写真-7）。壁部のブラケット設置箇所の詳細を図-7に示す。



写真-7 盛替梁設置状況

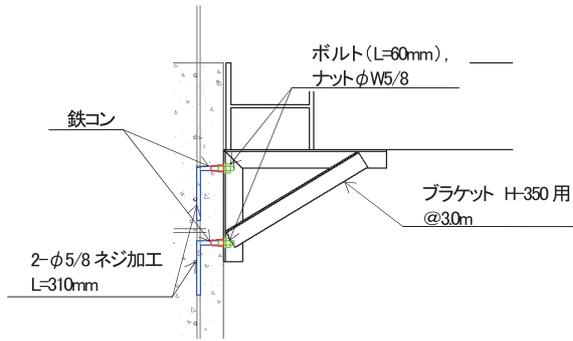


図-7 ブラケット設置箇所詳細図

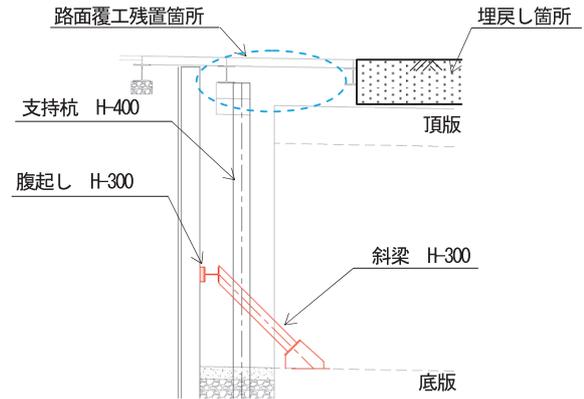


図-8 始点側工区境

5-4 工区始点及び終点側の処理

原設計では、工区境の処理は始点側・終点側共にどちらもグラウンドアンカー形式の土留工を行い、仮壁を構築して棲壁を埋め戻す計画であったが、現場状況に応じて変更した。

(1) 始点側

始点側は、連続壁背面に支障物があることが判明したため、グラウンドアンカー形式から大火打ち形式に変更した。さらに、隣工区の工事が本工事施工後に早期開始することにより、仮壁の構築および棲部の埋戻しは行わなかった。躯体の構築に伴って大火打ちを撤去するが、撤去後の連続壁の変位防止として斜梁（図-8）を設置した。

(2) 終点側

終点側は当初の設計通りにグラウンドアンカーを施工したが、隣工区の工事が発注されて工事開始時期の見通しが立ったため、仮壁の構築および埋戻しは行わなかった（図-9）。グラウンドアンカーは残置とした。

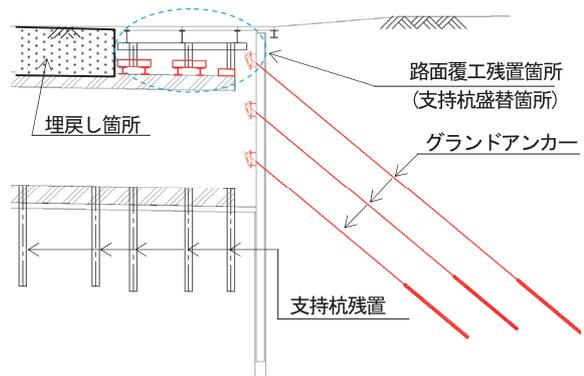


図-9 終点側工区境

5-5 覆工支持杭の盛替え

終点側のグラウンドアンカー残置に伴い、路面覆工も残置する必要があった。躯体構築後に覆工支持杭を撤去するため、覆工支持杭撤去前に支持杭を頂版で受け替えることとした（図-10、写真-8）。頂版で盛替え後、躯体中の覆工支持杭撤去を行った。

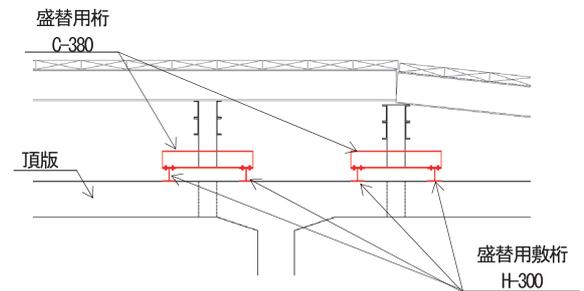


図-10 終点側支持杭盛替図

§6. おわりに

本工事の地中連続壁は、当社で施工実績の少ない鋼製地中連続壁工法Ⅱでの施工であり、様々な課題があったが、品質事故ゼロで施工することができた。本工事と類似する狭隘地での施工は今後需要が高まると考えられる。本稿が同類工事の参考になれば幸いである。

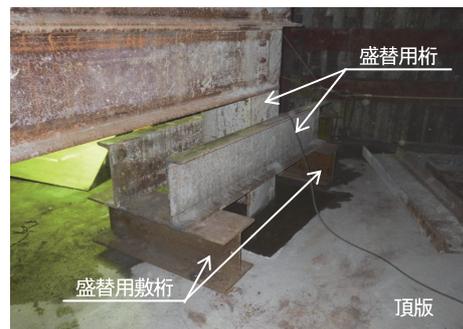


写真-8 支持杭盛替状況

謝辞：当該工事の施工にあたりご指導頂いた東京都殿をはじめ、関係各位の皆様、とりわけ本社土木設計部と技術研究所の皆様には厚く御礼申し上げますとともに、工事完了まで引き続きのご指導をお願いする次第であります。

参考文献

- 1) 鋼製地中連続壁協会：鋼製地中連続壁工法Ⅰ（コンクリート等充填鋼製地中連続壁工法）設計施工指針（案），pp. 2-4, 2012
- 2) 鋼製地中連続壁協会：鋼製地中連続壁工法Ⅱ（ソイルセメント鋼製地中連続壁工法）設計施工指針（案），pp. 1-5, pp. 11-12, pp. 29-35, pp. 49-93, 2012