

本体兼用鋼製連壁の地下トンネル築造工事

寛 哲 志

東京都の環状第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。道路構造について、平成10年に汐留から虎ノ門までの区間を地下トンネル方式とする都市計画変更が行われた。本稿では、都市部における開削工法による地下トンネル工事において、鋼製地中連続壁を利用した施工事例について報告する。

キーワード：鋼製連続地中壁工法、CSM工法、NS-BOX、嵌合継手

1. はじめに

環状第2号線が全線開通することで、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。また、2020年に東京で開催されるオリンピック・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として位置付けられている(図-1)。本工事は、環状第2号線のうち、オフィスビルが立ち並ぶ新大橋通り地区(写真-1)の下部に地下トンネル(ボックスカルバート)を築造する。新大橋通りに常設作業帯を設置し、施工を行った。

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-2m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、コンクリートガラ等が混入している。GL-4.6m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-4.6m~17m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。

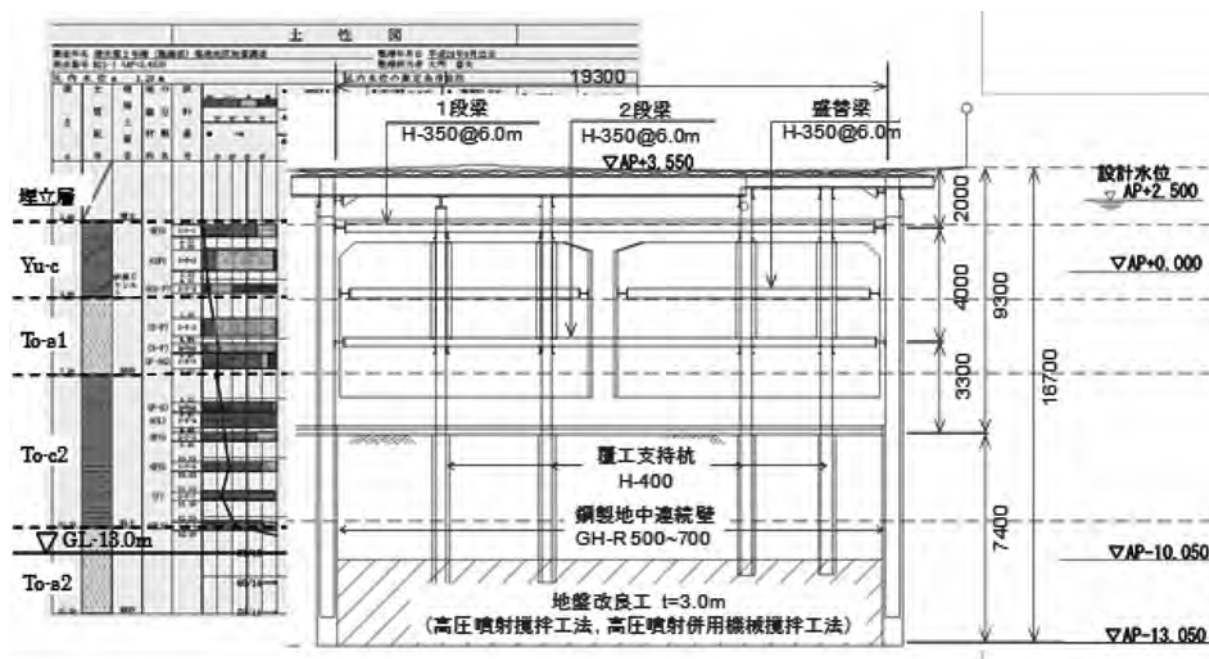
地下水位(孔内水位)はGL-1.2m~2.5mであり、設計水位はA.P+2.5m(GL-1.2m)と設定している。受注後に追加ボーリングを行い、東京層下部(To-s2)



図-1 環状2号線全体図



写真-1 工事箇所全景



図—2 土層と施工範囲の関係図

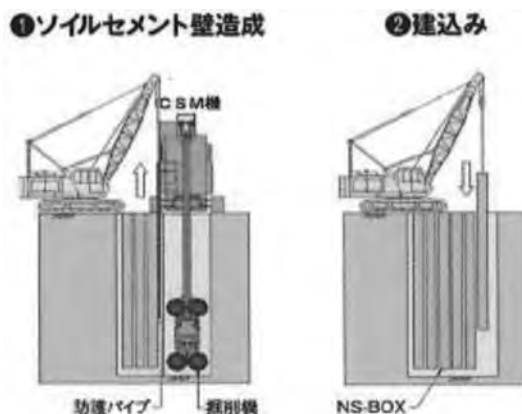
の被圧水位を計測した結果、A.P-3.0 m (GL-6.7 m) の被圧水位であった。

図—2 に土層と施工範囲の関係図を示す。

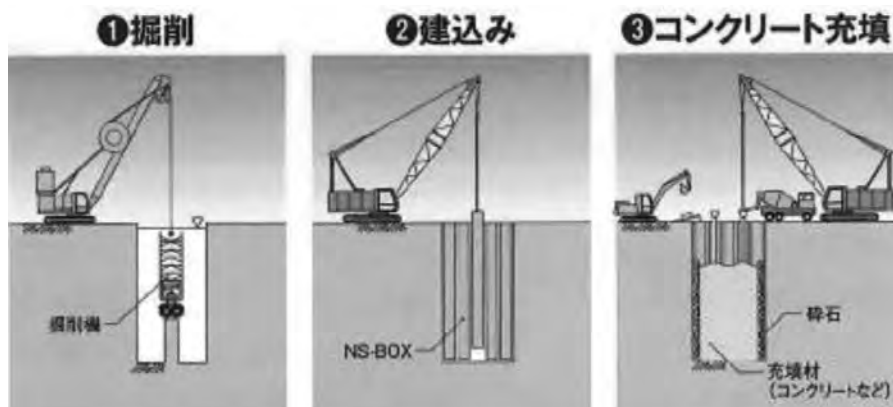
2. 鋼製地中連続壁工法

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（以下「本鋼製部材」という）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、一つは、安定液掘削した溝に本鋼製部材を相互に連結しながら建込み、コンクリート等を充填して壁体を構築する工法—I（図—3）と、もう一つは、原位置土混合攪拌したソイルセメント壁を造成後、本鋼製部材を相互に連結しながら建込み、壁体を構築する工法—II（図—4）がある。

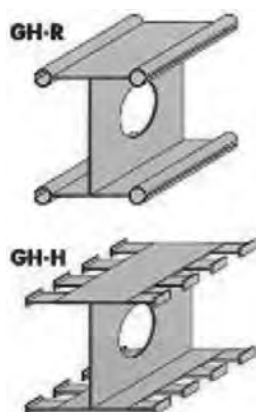
本鋼製部材は嵌合継手を有しており、フランジの端部が C 型と T 型があり（図—5, 6）、2 種類の部材を交互に建て込み、連続壁を構築する。工法—I では、建込み後にコンクリートを充填するため、充填性の確



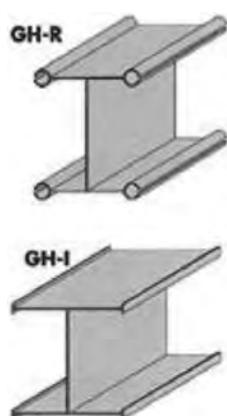
図—4 施工概略図（工法—II）



図—3 施工概略図（工法—I）



図—5 使用部材（工法—I）



図—6 使用部材（工法—II）

保のために本鋼製部材のウェブに開口が設けられている。

鋼製連壁の工法には、主に以下の利点がある。

- 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

本工事では工法—IIで施工を行った。工法—IIは、TRD（Trench cutting Re-mixing Deep wall）工法とCSM（Cutter Soil Mixing）工法の2種類の掘削・造成方法で施工を行える。

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度を混合・攪拌し、壁状のソイルセメント壁体を連続して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



写真—2 掘削機械



写真—3 建込み完了

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。

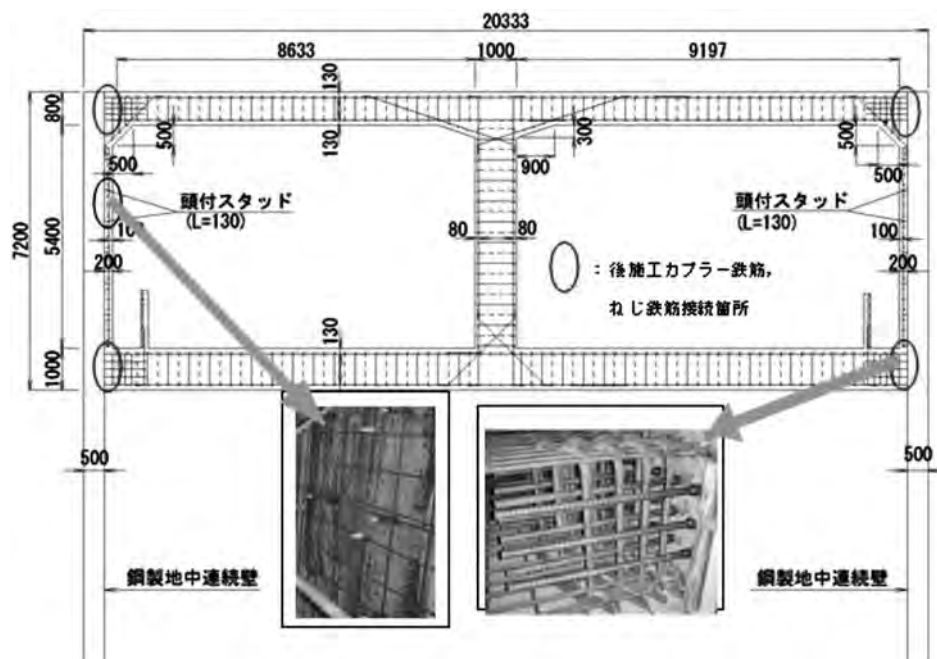
施工箇所周辺はオフィスビルが建ち並び、また、築地市場が近いことから、人や車両の交通量が非常に多い。周辺への騒音や振動の影響を考慮して、施工は夜間に行った。写真—3に建て込み完了の写真を示す。

3. 鋼製連壁の構造

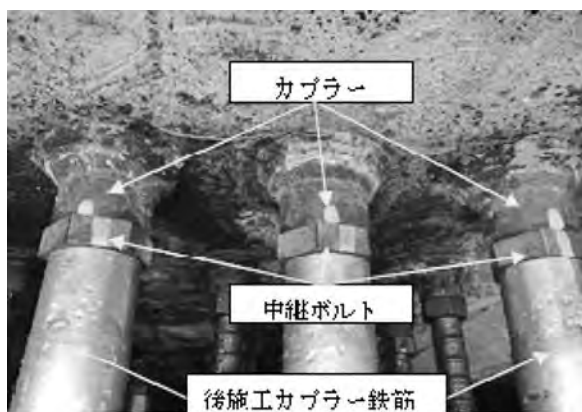
地下トンネルを構築する際、コンクリート構造物本体と鋼製連壁を接合する必要がある。本工事では、剛性と耐力の高い一体壁形式が採用されており、鋼製連壁と底版および頂版との接合部の鉄筋は、ねじ継手溶接カプラー方式で接合する構造となっている。

構造図を図—7に示す。壁は頭付スタッドを溶接し、底版・頂版部はねじ鉄筋を用いてカプラーに接続するが、写真—4のように曲げ鉄筋は中継ボルトを用いて接続し、せん断鉄筋はボルトのみを用いて接続した。

カプラー背面には鋼製連壁のウェブの補強を目的として、プレートが取り付けられている（図—8）。



図一七 代表断面の構造図



写真一四 カブラー接続状況



図一九 嵌合継手

4. 課題及び対策

(1) 埋設物・支障物の確認

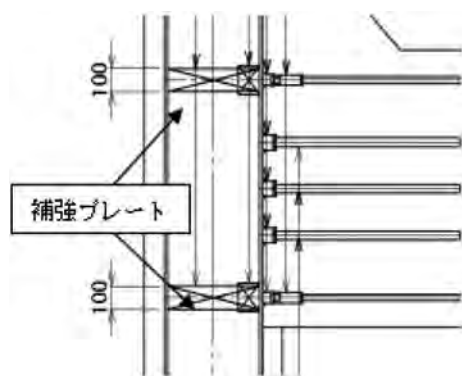
施工箇所には周辺ビル用のインフラの埋設管があることが事前に分かっており、施工時には十分に留意する必要があった。原設計図面を確認しながら施工前に試掘を行い、埋設管の位置を確認した（写真一五）。

試掘中に写真一六のような支障物が発見されたので、古地図を確認すると、施工箇所周辺は昔は護岸であったことが分かり（図一10）、写真一六の採取された石は石積みの材料と推察する。

浅層にある支障物は試掘と併行して撤去し、深層にも支障物は存在すると考えられ、鋼製連壁施工時にその都度撤去した。

(2) 溝壁の安定

鋼製連壁の施工にあたり、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

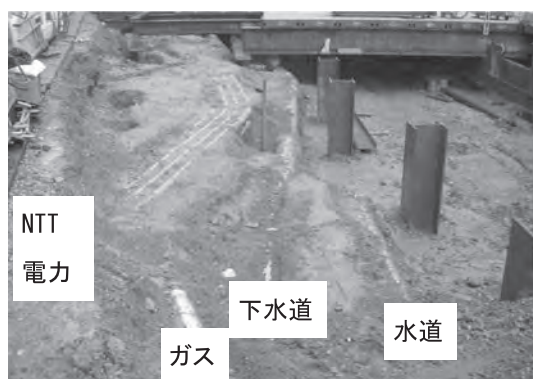


図一八 カブラー背面の補強プレート

鋼製連壁は嵌合継手によって、一般的な地中連続壁よりも高い止水性を持つことが特徴である。前章で述べたように、C型の継手とT型の継手が組み合わさり、内部がソイルセメントで充填されることで高い止水性を発揮する（図一9）。



図—10 施工箇所の古地図



写真—5 埋設管



写真—6 支障物

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、試料は現場で対象土を攪拌し、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 $1.0 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ ，設計強度 (σ_{28}) は $1.0 \text{ (N/mm}^2\text{)}$
- 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。

管理方法として、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 m/h ，硬い地盤: 4.8 m/h) をリアルタイムで確認しながら施工を行った。

(3) 嵌合継手の防護

鋼製連壁は、嵌合継手により高い止水性が得られるが、掘削完了からある程度の時間が経過した場合、ソ

表—1 掘削固化液配合

対象土量 1m^3 あたり	高炉セメントB種 (kg)	水 (kg)	ペントナイト (kg)	遅延材 (kg)
	250	700	5.0	10.0



写真一七 防護パイプ (C型用)



写真一九 定規材



写真一八 防護パイプ (T型用)



写真一〇 鋼製連壁部固定状況

イルセメントが硬化し、隣接する本鋼製部材を建て込めなくなる。そのため本鋼製部材建込完了時に継手部に防護パイプ(写真一七、八)を設置し、継手内部にソイルセメントが入り込むのを防止する。

工程等の都合で施工間隔が空いてしまい、防護パイプ周辺のソイルセメントが硬化し、パイプが抜けなくなった場合、丸い防護パイプは抵抗も小さく、万が一抜けなくても外周を削孔することで抜くことが可能である。なお、T型側の防護パイプは抵抗も大きく、万が一の場合の対処方法がないため、建込みの翌日に、数回防護パイプの引き抜き行為を行い、ソイルセメントと防護パイプの縁切りを行う必要がある。

(4) 建込み精度

本鋼製部材と底版・頂版の接続部は先に示した構造図のとおり、該当箇所にあらかじめカプラーが設置されている。本鋼製部材の建て込み時に施工誤差が生じると、底版および頂版構築時に鉄筋のかぶり不足などの不具合が生じてしまう。万が一誤差が生じ、カプラー設置箇所を修正する場合、カプラー背面(本鋼製部材内部)には補強プレートが必要となり、補強プレートは建込み完了後に設置することが出来ないため、建込

み精度が極めて重要である。

建込み精度を高めるために、H鋼で組んだ定規材(写真一九)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。鉛直精度は2方向よりトランシットで確認し、高さについては実績を考慮して、10 mm～15 mmの上げ越しを行った。また、建込みの1本目となるH鋼には角パイプを取り付け、傾斜計を挿入して鉛直精度を計測、確認した。

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(写真一〇)。ブルマンを撤去するのは、24時間以上経過してからとし、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。

(5) 工期短縮

掘削に使用したクアトロサイドカッターは、カッター幅が2400 mmであり、本鋼製部材幅が約700 mmのため、設計上は1回の掘削あたりで本鋼製部材3本の建て込みが可能となる。しかし、掘削、造成、建て込みの一般的なサイクルタイムでは作業時間内に3本部材を建て込むことは厳しかった。

そこで、鋼材を吊り込み位置が最短となる箇所であらかじめ地組みし、効率的に建て込むことで、施工時間を短縮し、1回の掘削あたりで鋼製連壁部材3本の建て込みを行った。

(6) 内壁コンクリートの温度ひび割れ対策

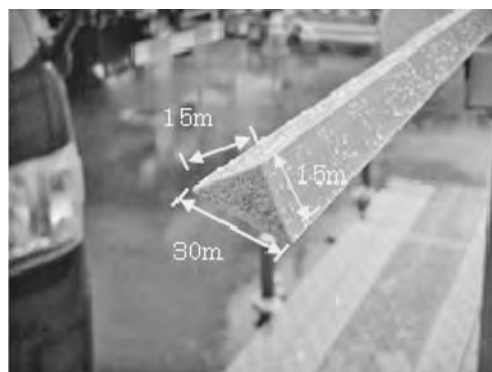
内壁は1ブロックあたり最大延長約20 m、高さ4 m、壁厚200 mmでマスコンクリートではないが、壁厚が薄いため、乾燥ひび割れ発生の懸念がある。薄い部材に対するひび割れの解析手法は確立していないが、乾燥収縮によるひび割れに着目して、温度応力解析を行った。

検討の結果、ひび割れが発生する確率が高いことから、発注者と協議の上、Vカット目地のピッチを約4 mに小さくして目地数を増やした。さらに養生期間を通常の7日から14日に延長した。

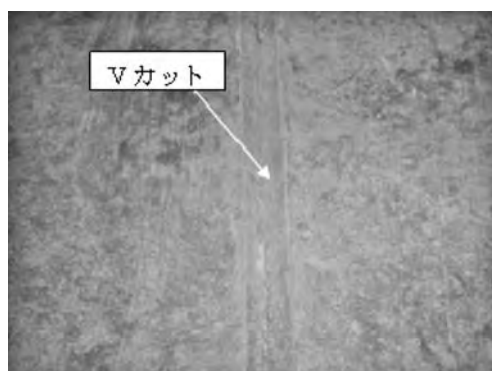
Vカット目地に使用した材料を写真—11に、施工完了の写真を写真—12に示す。Vカットを設置することと養生期間を長くしたことで、有害なひび割れは確認されなかった。

5. おわりに

今回の工事の地中連続壁は、本稿で記載したような課題を克服することにより、品質事故ゼロで施工することができた。官民境界からの離隔が少ない箇所での施工や既設構造物近接箇所での施工など、今後の需要が高まる可能性もあることから、本稿が同類工事の参考になれば幸いである。



写真—11 Vカット目地材料



写真—12 Vカット施工完了

J C M A

《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

〔筆者紹介〕

笈 哲志（かけひ さとし）
西松建設㈱（西松・京王・三幸建設共同企業体）
関東土木支社 環2新大橋出張所
副所長

