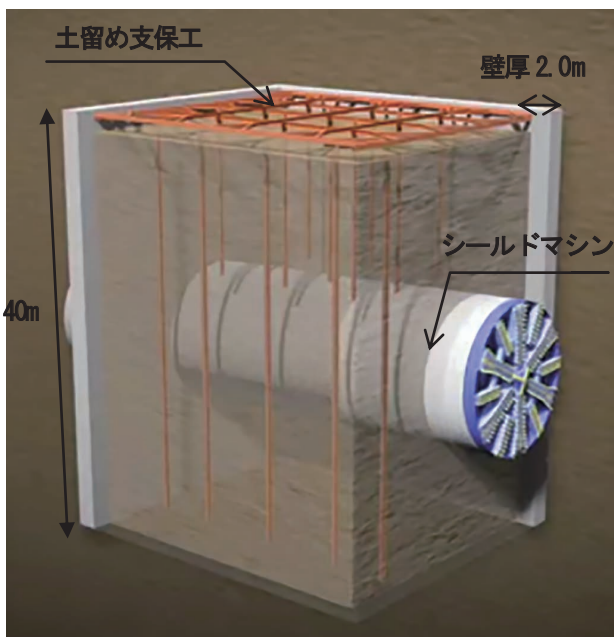


Takahiro Asano

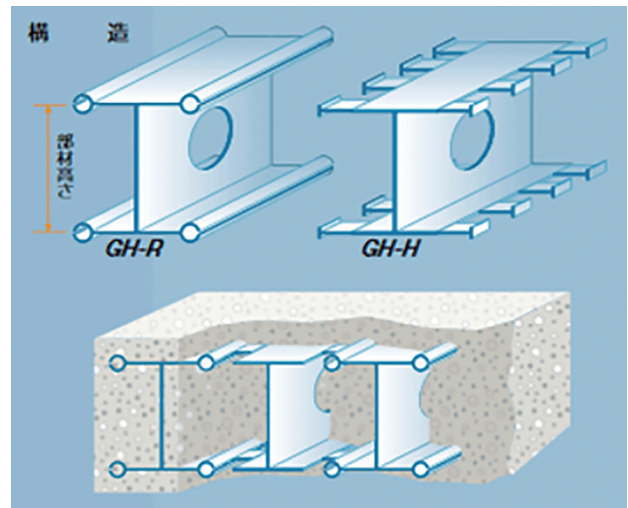
(現：羽田西 (出))



図ー4 立坑とシールドマシン通過位置 平面図



図ー5 地中連続壁通過イメージ図



図ー6 NS-BOX 概要図 (NIPPON STEEL)



写真ー1 NS-BOX 建て込み状況

§ 2. 立坑構造および通過条件

2-1 立坑構造

シールドマシンを通過させる城南換気所立坑は周囲が壁厚 2.0 m、壁体長 40 m の鋼製地中連続壁で囲まれた構造である。

2-2 鋼製地中連続壁の構造

鋼製連続壁部材 NS-BOX は並行フランジ型の鋼製土留め部材でフランジの両端部に嵌合タイプの継手 (C 継手 (GH-R) と T 継手 (GH-T)) が設けられた構造部材を芯材とする。(図ー6) 芯材周囲はコンクリート充填によって構築されており、マシン通過部は、マシンカッタービットで直接切削可能な部材 (NOMST 部材) が使用されている。(写真ー1)

2-3 シールド線形

シールドマシンは、城南換気所の鋼製地中連続壁を東

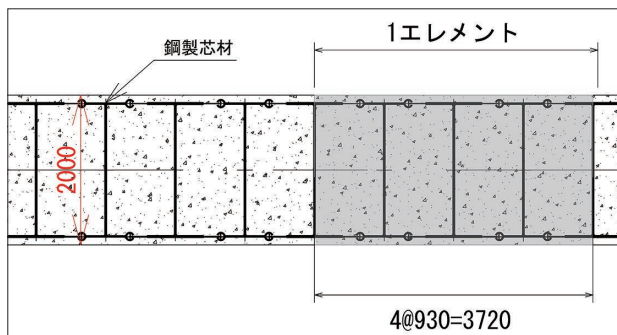
面から西面へ掘進した。城南換気所通過時の線形は、曲線半径 $R=2,000$ m、上り勾配 2.943% であった。

§ 3. 課題

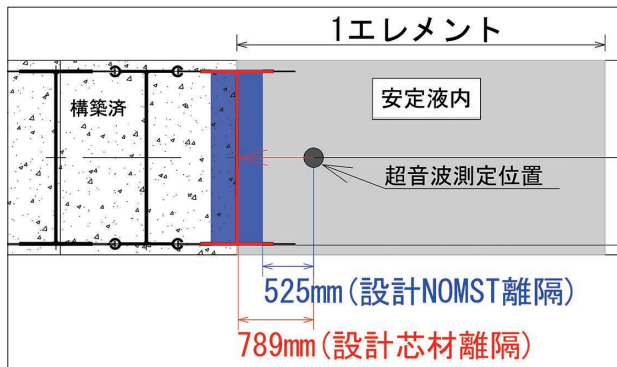
シールドマシンは、鋼製地中連続壁を掘削前に通過する計画であり、NOMST 切削部材を目視確認はできない。そのため、鋼製地中連続壁の鋼製部に接触させずにシールドマシンを通過させるために、以下の 3 つの課題を解決する必要がある。

3-1 鋼製地中連続壁の出来形推定

マシン通過には正確な切削可能部材位置の確認が重要となるが、連壁構築後には切削部材が不可視部となる為、構築時に得られた測定値から切削部材位置の推定を行う必要があった。また NS-BOX の継手は嵌合タイプであるため、継手構造上の誤差を考慮することが重要であった。



図一七 地中連続壁 標準平面図



図一八 超音波探査測定方法（平面図）

3-2 シールド線形の設定

シールドマシンが切削可能部材範囲内に収まることに加え、実施工においてはシールドマシンと鋼製地中連続壁が直交して、上下左右同程度ずつ鋼製部から離隔を保持して切削せざるを得ないため、通常よりも精度の高い線形の設定が必要であった。

3-3 掘進管理

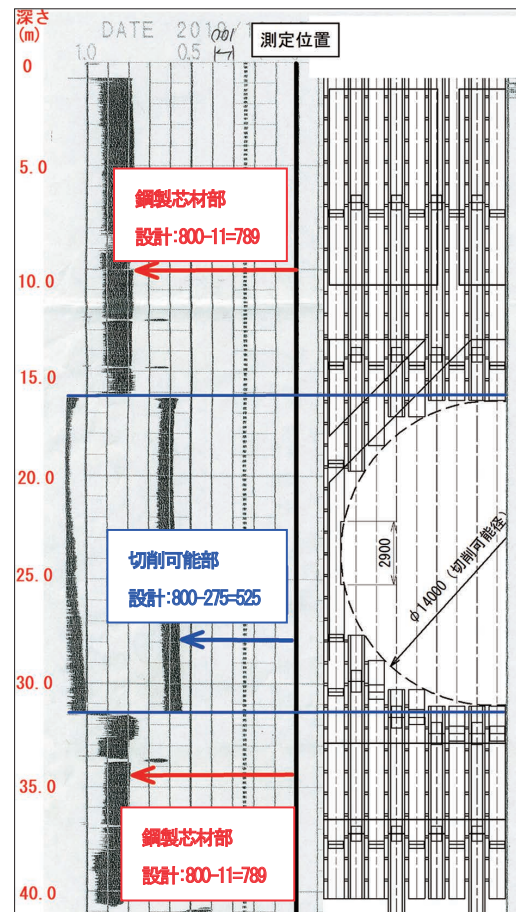
マシンが万が一鋼製芯材と接触してしまった場合は、マシンカッタービットの破損、掘進不能に至り、大幅な工程遅延や膨大な修理費がかかる。また、前述のように通常の線形管理よりも精度の高い掘進が必要なこと、最悪の場合シールドマシンの回収に繋がるなどリスクが大きいことから掘進は高精度な測量管理、掘進管理を行う必要があった。

§ 4. 対策

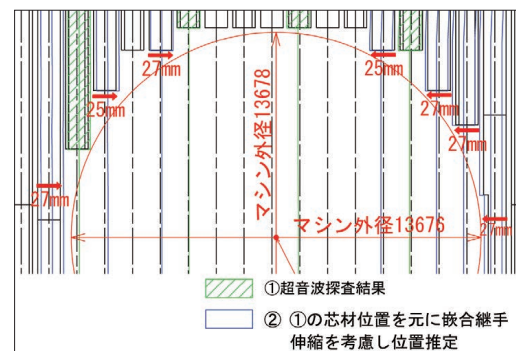
4-1 鋼製地中連続壁の出来形測定

(1) 超音波探査

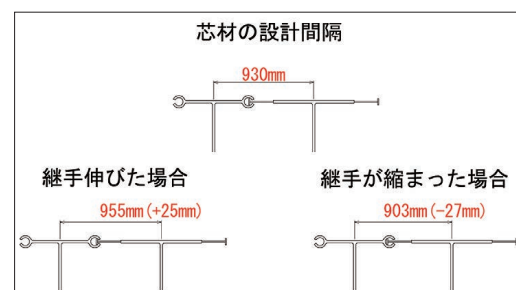
連壁は1エレメント（本工事では芯材4本分 芯材間隔930mm）毎に構築を行った。（図一七）本工事では切削可能部材位置測定のため、構築済みの芯材の配置を掘削安定液内から超音波探査測定を行った。（図一八、図一



図一九 超音波探査測定結果



図一〇 超音波探査から推定した芯材位置図



図一一 芯材継手の伸縮イメージ図

(2) 芯材位置の推定

超音波探査を行った芯材を基準とし未探査の芯材位置を推定した。未探査の芯材はシールドマシン側（支障する側）に嵌合継手を伸縮させ、最もシールドマシン通過

範囲が狭くなるようにした。(図-10, 図-11)

4-2 シールド線形の設定

(1) 三次元モデル作成

地中連続壁の芯材の建込み位置, 切削可能部材 (NOMST) 位置, マシン形状および計画線形の三次元モデル作成を行った。

モデル作成は Civil3D, Navisworks を使用した。Civil3D では線形, 縦横断面図の作成及び構造物モデルを作成した。Navisworks では, 掘進シミュレーションを行った。

地中連続壁の切削順序は, 東面外側→東面内側→西面内側→西面外側であり, 連壁通過の方向や角度, 鋼製芯材との離隔が異なるため, 通過位置 (X, Y, Z) の選定を慎重に行った。

次に, 通過位置を確認後, Civil3D で干渉チェックを行い, マシンが各段階において芯材との干渉がないか確認を行った。干渉が確認された場合は, シールド線形の再設定を行い, マシンと鋼製芯材との干渉が確認されなくなるまで繰り返しチェックを行った。(図-12, 図-13)

(2) 干渉確認結果

(1)の施工シミュレーションに基づいた鋼製芯材とマシンの離隔を図-14に示す。地中連続壁は壁厚 2.0 m であるため, 東面外側における最小離隔 55 mm と, 次に通過する東面内側における最小離隔 12 mm は, 壁の内外で離隔が異なっていた。

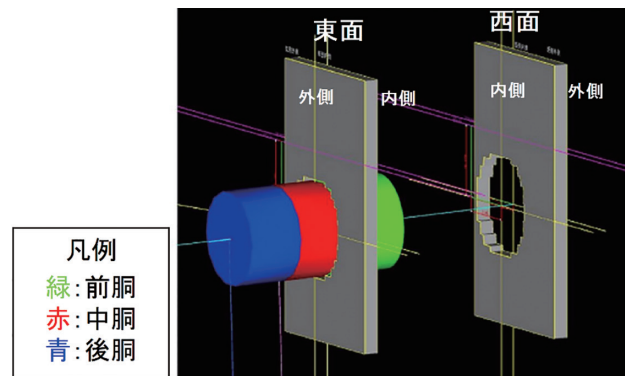


図-12 Navisworks を使用した 3 次元モデル

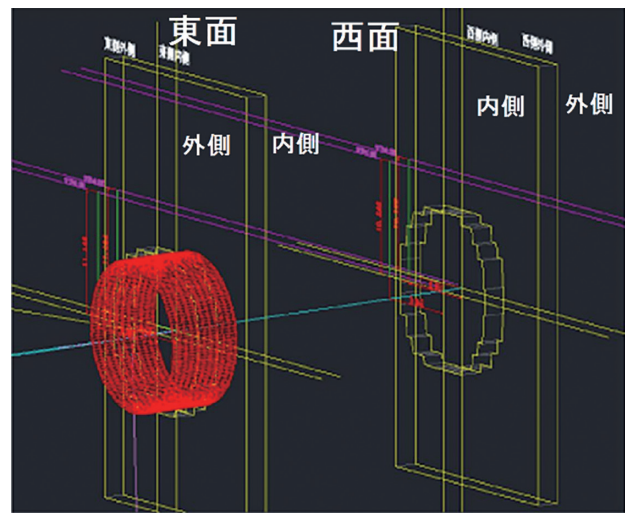


図-13 Civil3D を使用した 3 次元モデル

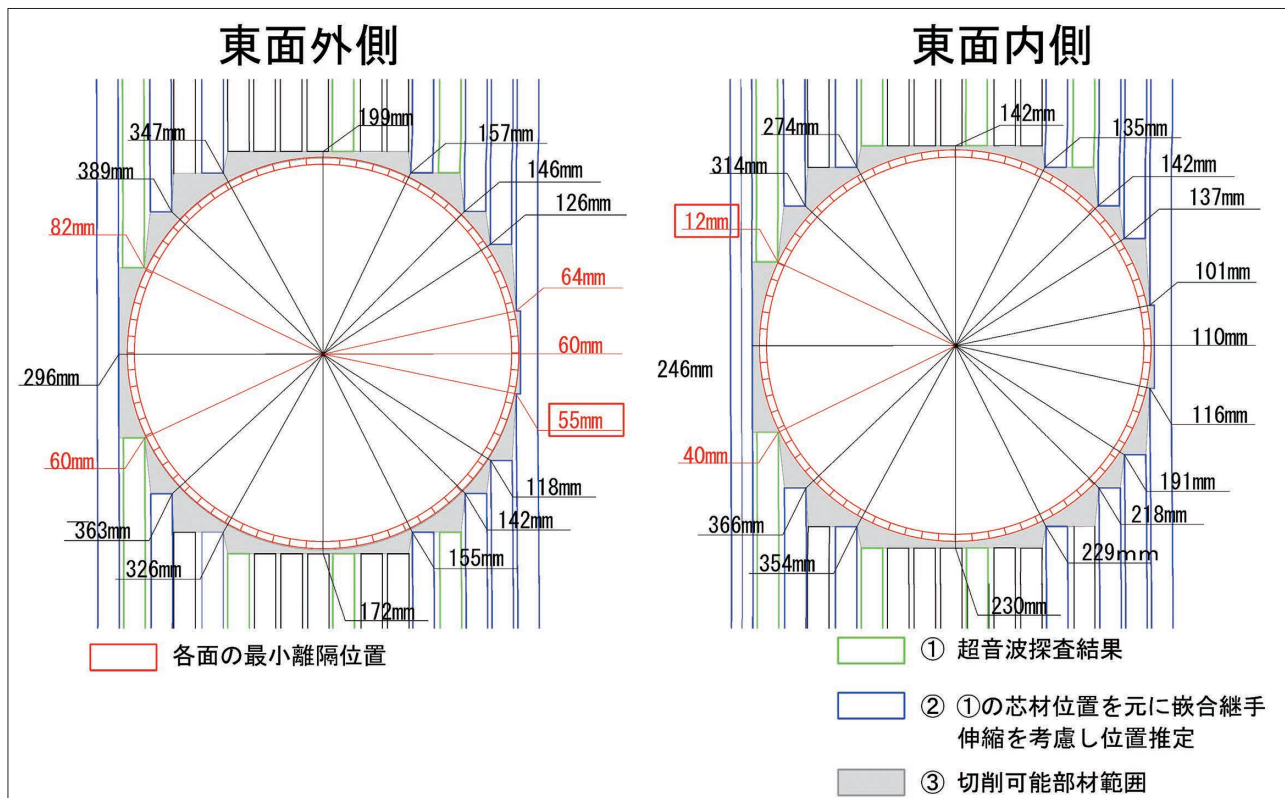


図-14 地中連続壁東面におけるマシンとの離隔

表一 1 シールドマシン線形修正前後の最小離隔

シールドマシン-鋼製芯材 最小離隔		
位置	線形修正前 (図一 1 4)	線形修正後
東面外側	55mm	32mm
東面内側	12mm	32mm

(3) シールド線形の修正

シールドマシン到達時の鋼製芯材との離隔を確保するため、線形の修正を行った。再度 Civil3D で干渉チェックを行い、その他の干渉がないか確認した。修正の結果、外側 55 mm から 32 mm、内側 12 mm から 32 mm へ離隔を拡大した。(表一1)

4-3 掘進管理

(1) 測量精度確認

掘進精度を高める為、異なる測量業者二社による基線測量 (GNSS 測量) を地上で行い、改めて基線の方角角・距離が測量誤差範囲内に収まっていることを確認した。

次に、地上の測量結果を元に、発進立坑及び坑内基準点の測量を行い掘進管理で使用している基準点と比較した。立坑下への基準点測量は下げ振りとジャイロ計測器の2つの手法を用いた。結果はすべて許容誤差の範囲内の結果となったが、今回は各測量結果の平均値を採用した。

(2) 掘進

掘進は毎分 1 mm の微速掘進とした。また線形を逸脱しないよう、マシンの位置測量を 1 リング毎に実施し、結果を掘進管理システムに都度反映させた。

また、掘進中には様々な計器を確認するが、地中連続壁掘進中には特にカッタービット温度やカッタートルクに急激な変化が起きる可能性があった為、注視しながら掘進を行った。

(3) 地表面での監視

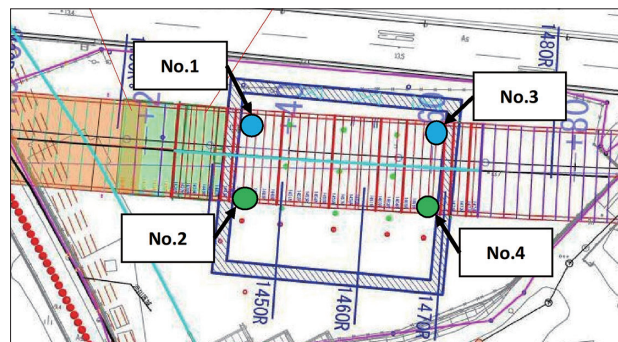
地中連続壁付近掘進時には、地上監視員を配置し地表面に異変が起きた際は掘進管理者と連絡を取り合う体制とした。また、地中連続壁頭部に振動計を設置し芯材との接触がないか監視を行った。(図一15、写真一2)

(4) ボアホールレーダー探査

地中連続壁切削前に電磁波によるシールドマシン位置の簡易的な確認を行った。地中へ電磁波を放射すると地中の空洞、埋設物から電磁波が反射される。この原理を利用しシールドマシン位置を測定した。(図一16)

① 方法

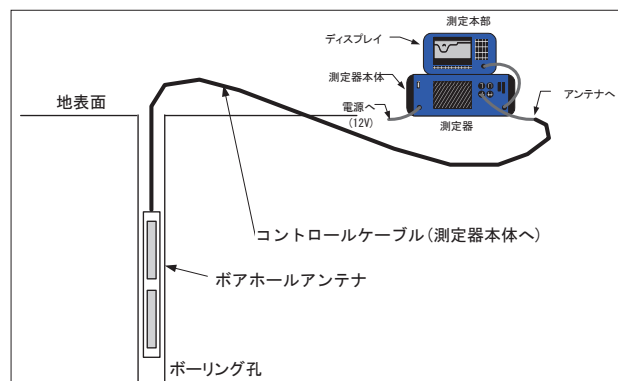
シールド外径の設計位置より 500 mm オフセットした



図一15 振動計設置位置図



写真一2 振動計設置状況



図一16 電磁波探査システム概要

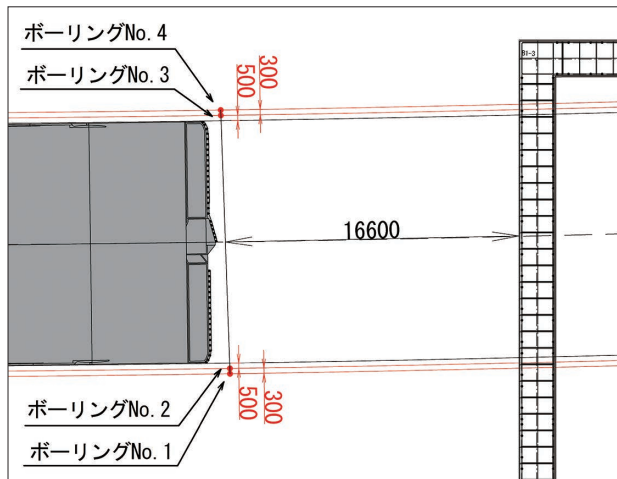
ボーリング孔 (NO.2, NO.3) と、800 mm オフセットしたボーリング孔 (NO.1, NO.4) に、長さ 30 m の塩ビ管を 4 本設置した。

その後、塩ビ管の正確な建込位置をジャイロ測量により行った。(図一17)

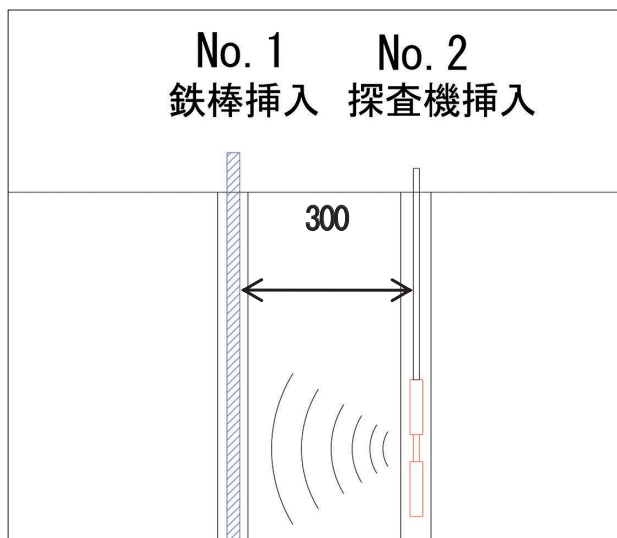
次にボーリング No.2 および No.3 孔内のシールドマシン中心の通過高さにボアホールレーダを挿入し、別孔 No.1 および No.4 孔内に鉄筋棒を挿入して、原地盤の電磁波速度の算出を行った。算出した電磁波速度を用いてシールドマシン通過前後で探査を行い、通過位置の測定を行った。(図一18)

② 探査結果

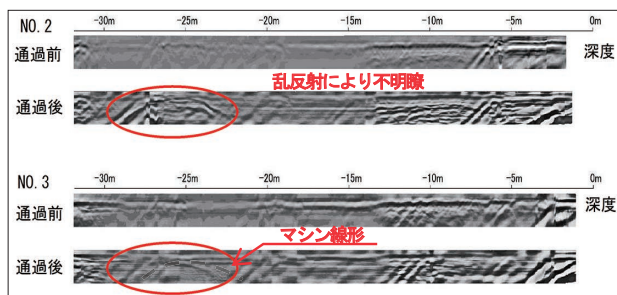
結果を図一19に示す。シールドマシン通過前後で反射波形の違いからシールドマシン位置の反応が確認できた。しかし、特に NO.2 で不明瞭な記録となったため、信用



図一七 ボアホールレーダー探査平面図



図一八 電磁波速度算出 概要図



図一九 シールド通過前後の探査結果

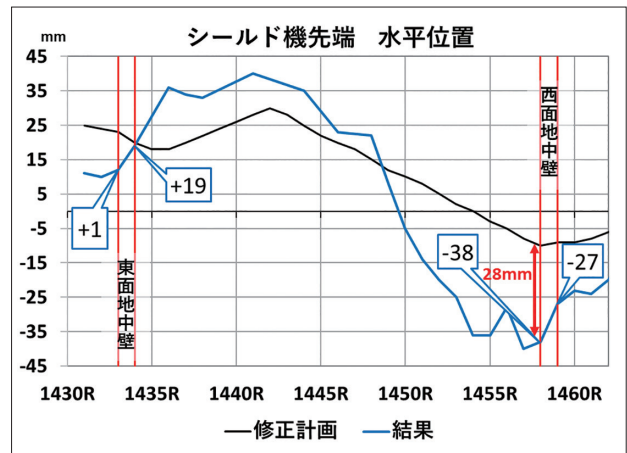
性の低い測定結果と判断し、掘進管理には不採用と★た。不明瞭な波形結果の理由としては地層境界、主に砂礫層の影響を受け乱反射が発生し、シールドマシンから明瞭な反射が得られなかったこと。また電磁波速度が土質によって大きく異なり均質な反射が得られなかったことが要因と考えられる。

表一 二 地中連続壁切削位置 結果

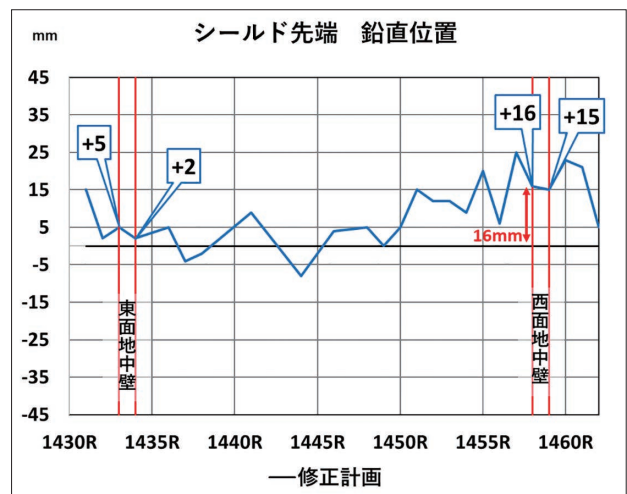
通過順	地中壁位置	シールド掘進変位 結果					
		水平変位(mm)			鉛直変位(mm)		
		修正計画	結果	誤差	修正計画	結果	誤差
1	東面外側	+23	+12	+11	±0	+5	+5
2	東面内側	+20	+19	-1	±0	+2	+2
3	西面内側	-10	-38	-28	±0	+16	+16
4	西面外側	-9	-27	-18	±0	+15	+15

※修正計画数値は原設計に対して

水平変位は進行方向で左:マイナス 右:プラス



図二〇 掘進精度結果（水平）



図二一 掘進精度結果（鉛直）

§ 5. 掘進結果

(1) 連壁通過位置

掘進結果を表一 二に示す。地中連続壁部の掘進誤差は最大で水平 28 mm、鉛直 16 mm となり、高い精度で掘進できた。（表一 二、図一 二〇、図一 二一）

(2) 掘進に関する計測値

地中連続壁の東面前後および、西面の後部には到達防護のため地盤改良がされており、当該位置の計測結果及び考察を次頁に示す。

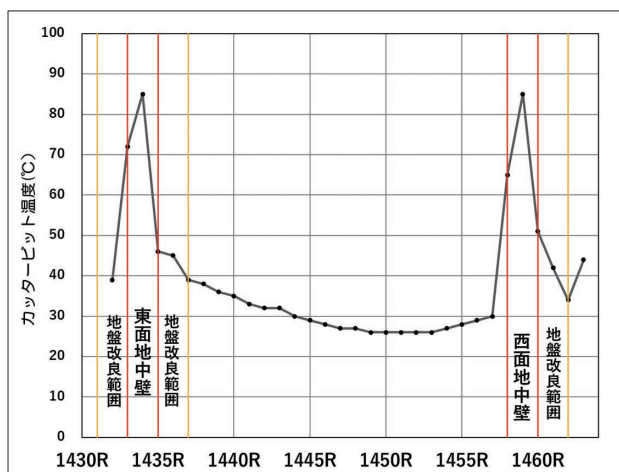


図-22 カッタービット温度測定値

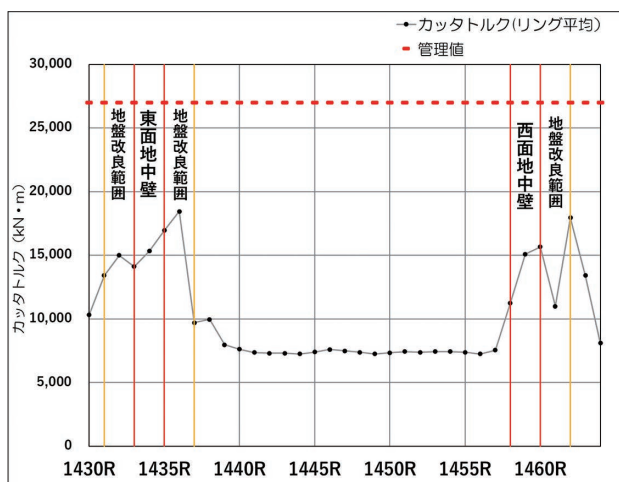


図-23 カッタートルク測定値

① カッタービット温度

地中連続壁前後の地盤改良区間で10℃程度の温度上昇, また連壁区間では急激な温度上昇がみられたが, 上限管理値となる90℃に達することはなかった。(図-22)

② カッタートルク

地中連続壁前後の地盤改良区間でトルクの上昇を確認した。地中連続壁区間においても同様な数値となったが, 両区間とも管理値以下(27,000 KN・m 装備トルクの50%)で連壁の掘進を完了した。(図-23)

③ 振動測定(地中連続壁頭部)

地中連続壁切削時, 掘進前に比べ振動値は10~15 dBの上昇は確認できたが, 最大で35 dB程度であり, 地表ではほとんど振動は確認できなかった。地中連続壁頭部を触手して, かすかに振動を感じる程度だった。(図-24)

以上の結果より, 地中連続壁切削時には鋼製芯材との接触がなかったと判断した。

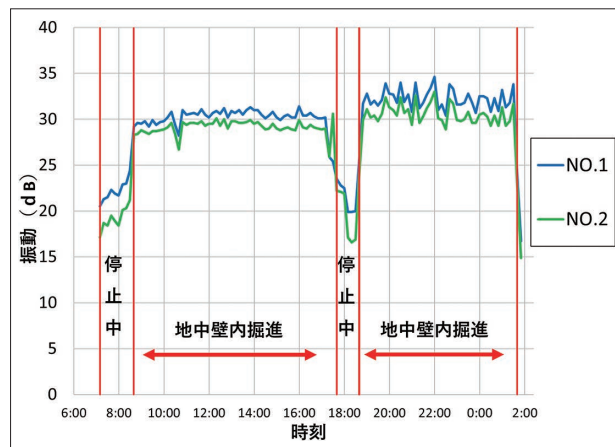


図-24 地中連続壁切削時 振動値(抜粋)

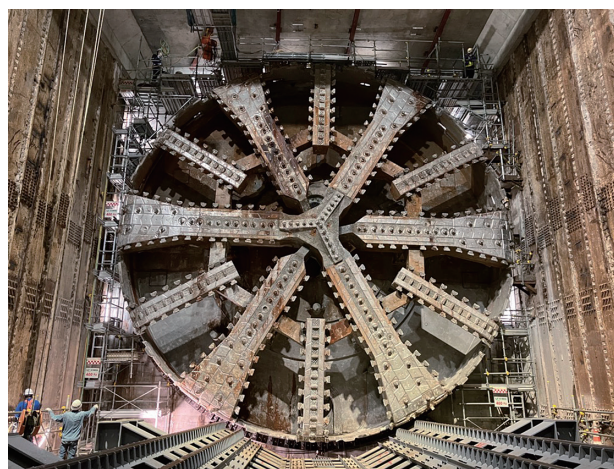


写真-3 回転立坑マシン到達時

§6. まとめ

ICT技術を活用し正確な掘進管理を行い, 高難易度の地中連続壁切削工は成功を収めた。計画段階では3次元モデルを作成し地中連続壁とマシンの位置関係が立体的に認識して, アニメーション化することで施工イメージを可視化できた。また, Civil3Dを用いて人為的な見逃しがなく干渉チェックするとともに, 繰返し掘進シミュレーションを行うことで, 綿密な掘進計画を立案できた。掘進管理では特に測量に注力をした。複数の手法, 測量者で値のばらつきを確認したことや, 各測量結果に対して幾度となく確認を行ったことで, 自信をもって掘進に臨むことが出来た。

今後, 同様な連壁切削工がある際には, 連壁芯材位置を高精度で測定する方法として, 線形側部の芯材にジャイロ計測器を取付けることも検討したい。

最後に, 計画・施工に際してご指導ご鞭撻を賜った多くの関係者各位に感謝の意を表する。