

シールドトンネルの拡幅工事における CIM の活用

東急建設株式会社 正会員 ○田中 悠一 正会員 高松 伸行
 東急建設株式会社 正会員 小島 文寛 正会員 廣崎 大史
 東急建設株式会社 正会員 堀 浩之 下村 義直

1. はじめに

東京都下水道局発注の隅田川幹線その3工事は、北千住駅を中心とする約410haの流域の浸水被害対策を目的として地下40mに築造された「隅田川幹線」の中間部を非開削で拡幅する工事である。本工事では、地山の止水と補強を目的とした大規模凍結工や、既設セグメントの撤去、凍土の掘削、拡幅セグメントの組立などを行うトンネル拡幅工により、周辺地盤の変状が誘発され、近接する構造物に影響が及ぶ可能性があった。そこで、凍結工および拡幅工の施工管理にCIMを導入し、近接施工に伴うリスク管理の迅速化、トンネル坑内の安全性向上、拡幅工における施工計画の綿密化などに役立てている。本稿では、隅田川幹線その3工事におけるCIMの活用事例について紹介する。



図-1 施工位置平面図

2. 工事概要

隅田川幹線には、当該幹線から約300m南方に位置する千住関屋ポンプ所の地下より発進するマシン外径6.5mのシールド（トンネル内径5.5m、外径6.35m）が側方からT字接合する計画となっている。このため、接合部を含む延長19.7mの区間を現外径のφ5.5mから最大でφ9.5mまで拡幅することで、地中接合に耐えう

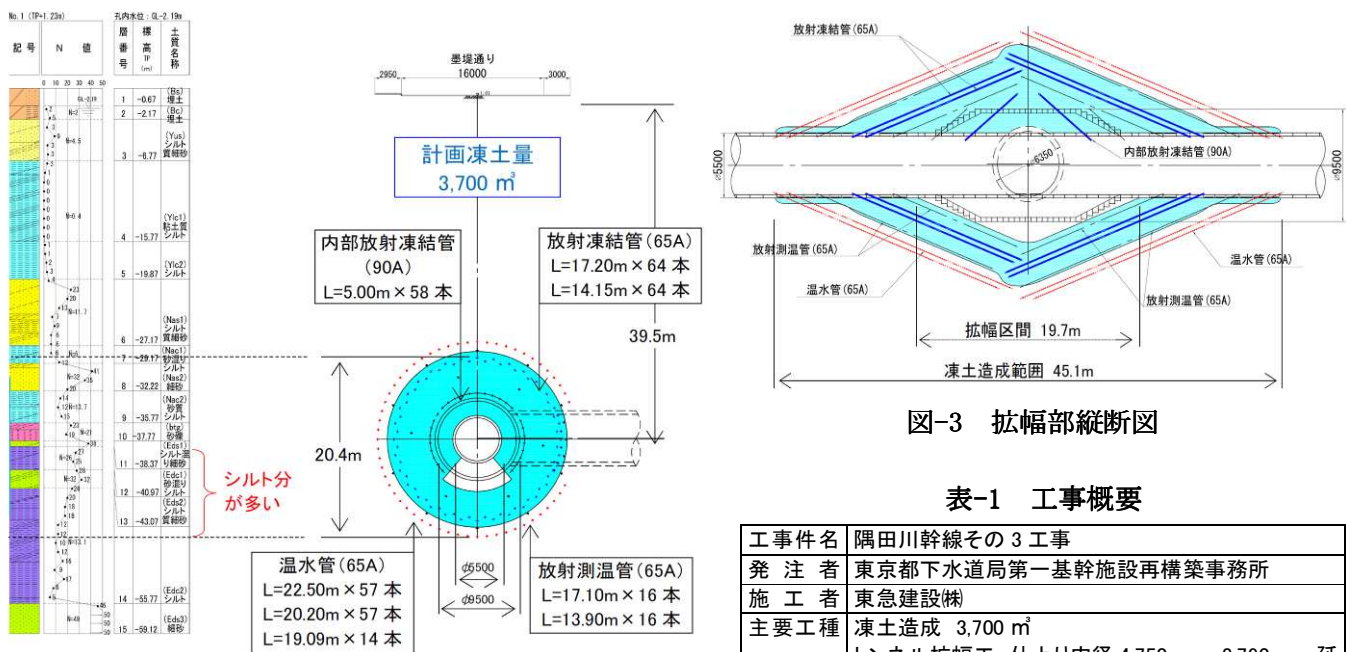


図-2 拡幅部横断面図

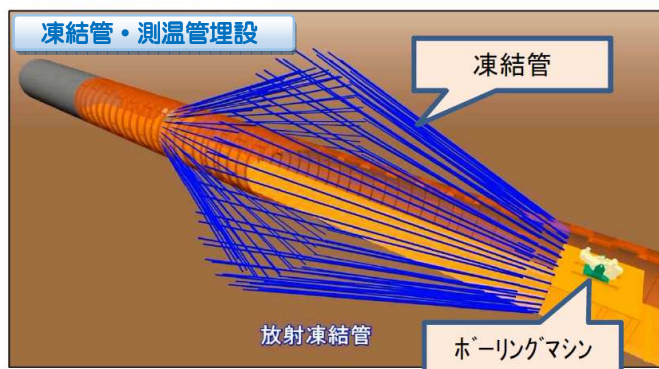
図-3 拡幅部縦断面図

表-1 工事概要

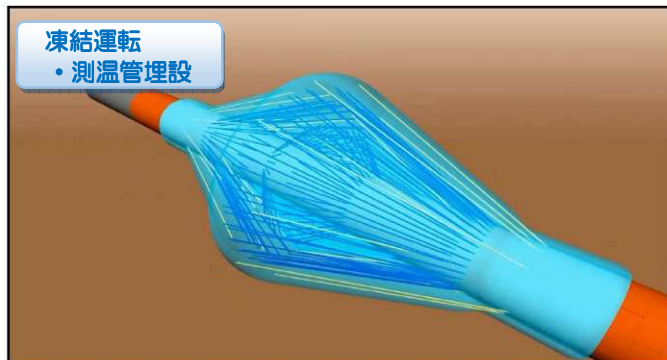
工事件名	隅田川幹線その3工事
発注者	東京都下水道局第一基幹施設再構築事務所
施工者	東急建設(株)
主要工種	凍土造成 3,700 m³ トンネル拡幅工 仕上り内径 4,750mm～8,790mm, 延長 19.7m

キーワード CIM, 見える化, 下水道, シールド, 地中拡幅

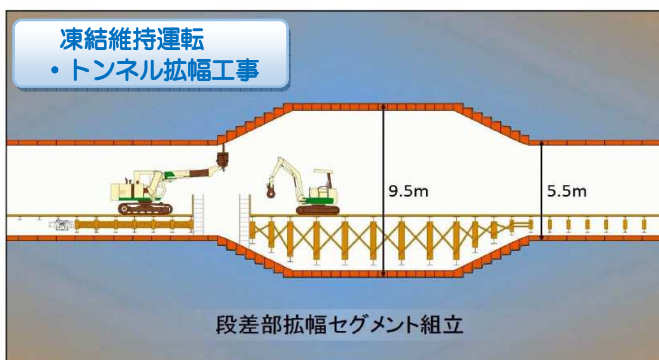
連絡先 〒150-8340 東京都渋谷区渋谷 1-16-14 東急建設株式会社 土木本部土木技術設計部 TEL 03-5466-5322



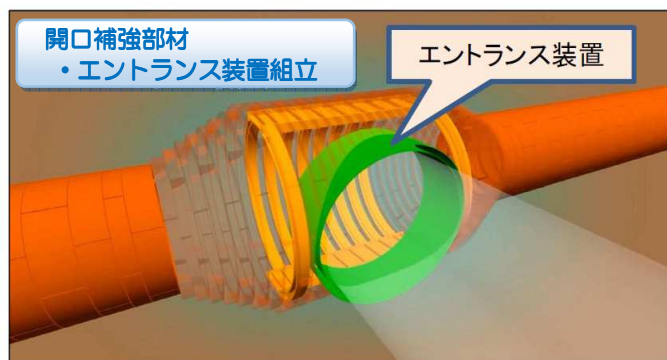
① 凍結管・測温管埋設：トンネル内から地盤を凍らせるための鋼製パイプをボーリングマシンで設置する。



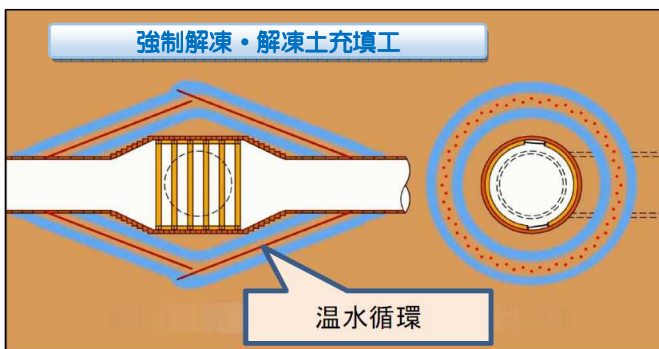
② 凍結運転(凍土造成)：ブライン(-30℃の不凍液)を凍結管内に流し、地中接合部を包み込むような形で、平均温度-12℃の大規模な凍土(3700 m³)を造成する。



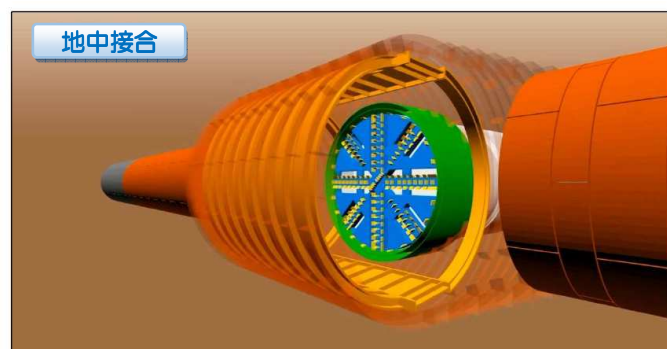
③ 凍結維持運転・トンネル拡幅工事：凍土を維持した状態で外径 5.5m の既設セグメントを撤去しながら、最外径 9.5m の拡幅セグメントを組み立てる。



④ 開口補強部材・エントランス装置組立：トンネルの拡幅完了後、地中接合してくるシールドを受け入れる設備をトンネル内に設置する。



⑤ 強制解凍・解凍土充填工：凍った地盤を温水で強制的に解凍し、解凍時に生じる地山の空隙に充填材を注入する。



⑥ 地中接合：千住関屋ポンプ所の地下より発進するマシン外径 6.5m のシールドをトンネル側方から T 字に接合させる。

図-4 地中拡幅工事の流れ

る内空を確保することが隅田川幹線その 3 工事の主な目的である。

隅田川幹線の直上には、都道や鉄道営業線、地中埋設物など、多数の重要構造物が密集している。このため、地上から開削により当該幹線を拡幅することができず、地盤改良工法も含め全ての工程をシールド坑内で行う方針となった。そこで選定されたのが、凍結工法により凍土の壁を構築し、凍土壁の内部を掘削して拡幅用のセグメントを組み立て、トンネルを拡幅する施工方法である。

凍結工法は、地中に埋設した凍結管内に-30℃の不凍液（ブライン）を循環させることで、土中の水を氷結させ、凍結管を中心とする凍土の柱を作り出す地盤改良工法である。当該工法では、凍土柱が成長し一体化することで高い強度と優れた止水性を併せ持つ凍土壁を形成することができるが、一方で、凍土造成時の凍上現象や解凍時の地盤沈下への対策および対応が重要な課題であった。これに加え、既設のセグメントを取り外して背面の凍土を掘削する拡幅工では、地山の緩みや凍土壁の融解によるトンネルの崩落、地下水の流入などが

懸念され、滞りのない作業計画と入念な温度管理が求められていた。

表-1 に工事概要を、図-1 に施工位置平面図を、図-2～図-3 に拡幅部の横断面図と縦断面図を、図-4 に地中拡幅工事の流れを示す。

3. CIMの導入

平成 24 年度から国土交通省主導で推進されている CIM (Construction Information Modelling/Management) は、三次元モデルと属性情報を組み合わせた「CIM モデル」を土木工事に導入し、合意形成の迅速化、業務効率化、品質向上、生産性向上などを図る取り組みと定義されている¹⁾。

隅田川幹線その 3 工事では、凍結工および拡幅工が抱えるさまざまな課題の解決を目的とし、3 種類の CIM モデルを開発して現場の施工管理に活用している。以下、本工事で開発した 3 種類の CIM モデルについて概説する。

(1) 凍土造成過程の見える化

凍結工では、凍土が隙間なく閉塞し耐力壁・止水壁を形成することが不可欠である。そのため、埋設した凍結管の位置を正確に把握し、後続管の埋設位置を調整する必要がある上、凍土造成中には、凍土壁の厚みと閉塞状況を逐次予測し、臨機応変に施工を行わなくてはならない。そのため、ジャイロセンサーによる凍結管の出来形管理、及び地中温度データと理論式に基づき作成される凍土予想図(図-5参照)による管理が従来行われてきた。しかしながら、いずれの管理手法も二次元を基本としており、凍結管の埋設位置や凍土の形状を三次元的に把握することはできなかった。

そこで、本工事では、凍結管の埋設作業時から 3D モデルによる出来形管理手法を導入し(図-6 参照)、計画凍土範囲の地盤が確実に凍結されるよう、凍結管の埋設

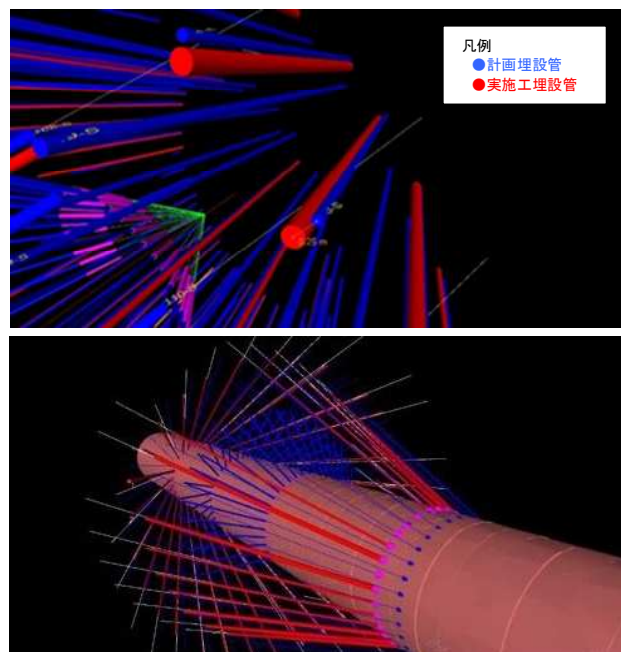


図-6 3D モデルによる凍結管の出来形管理

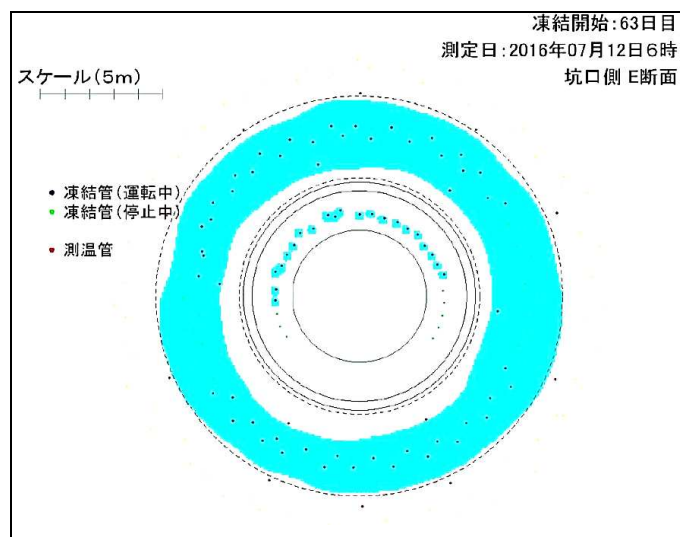


図-5 凍土予想図の一例

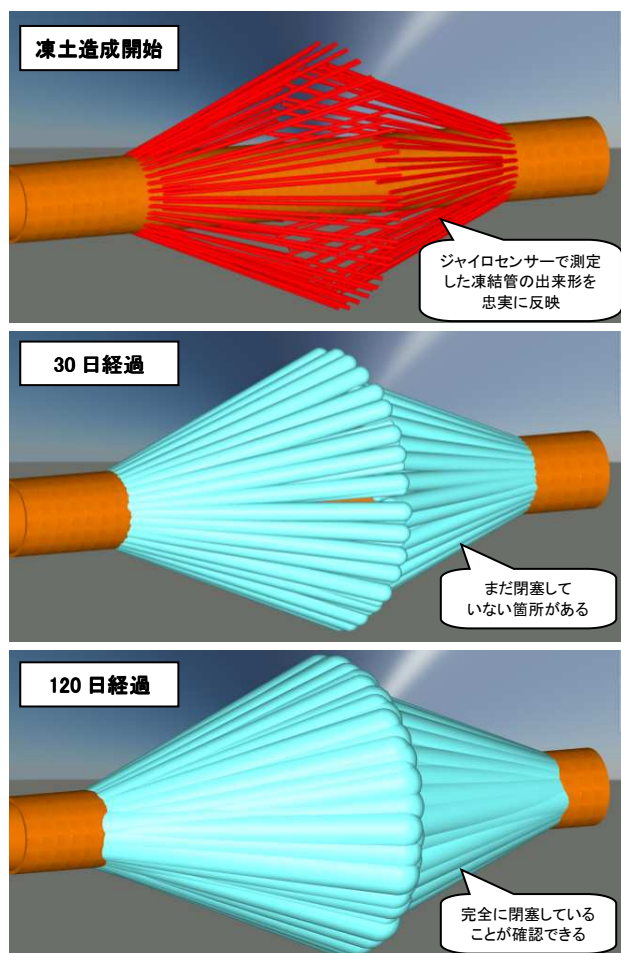


図-7 凍土造成過程の見える化

(2) 計測データの見える化

平面图

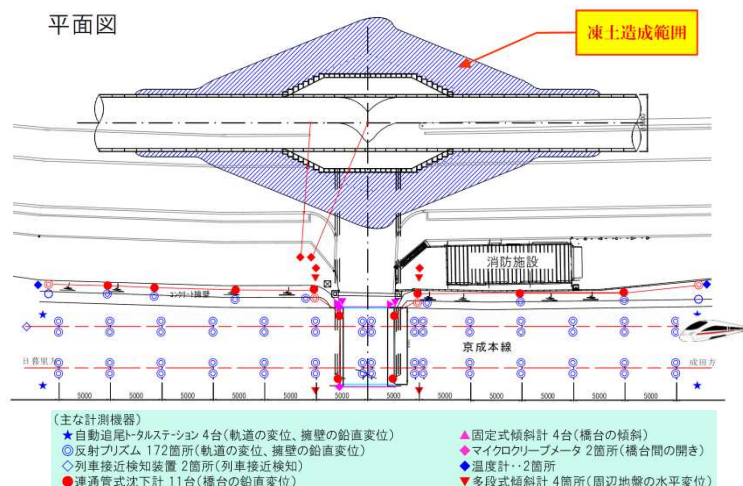


図-8 地上計測位置図（平面）

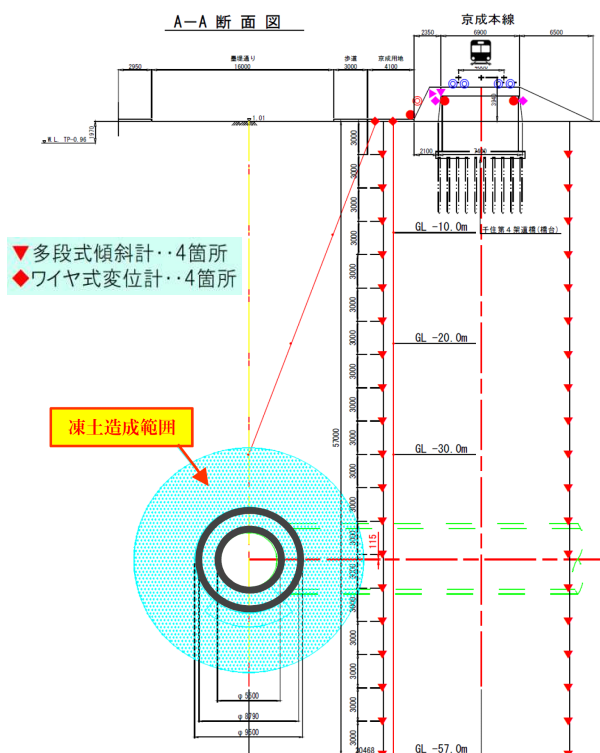


図-9 地中計測位置図（横断面）

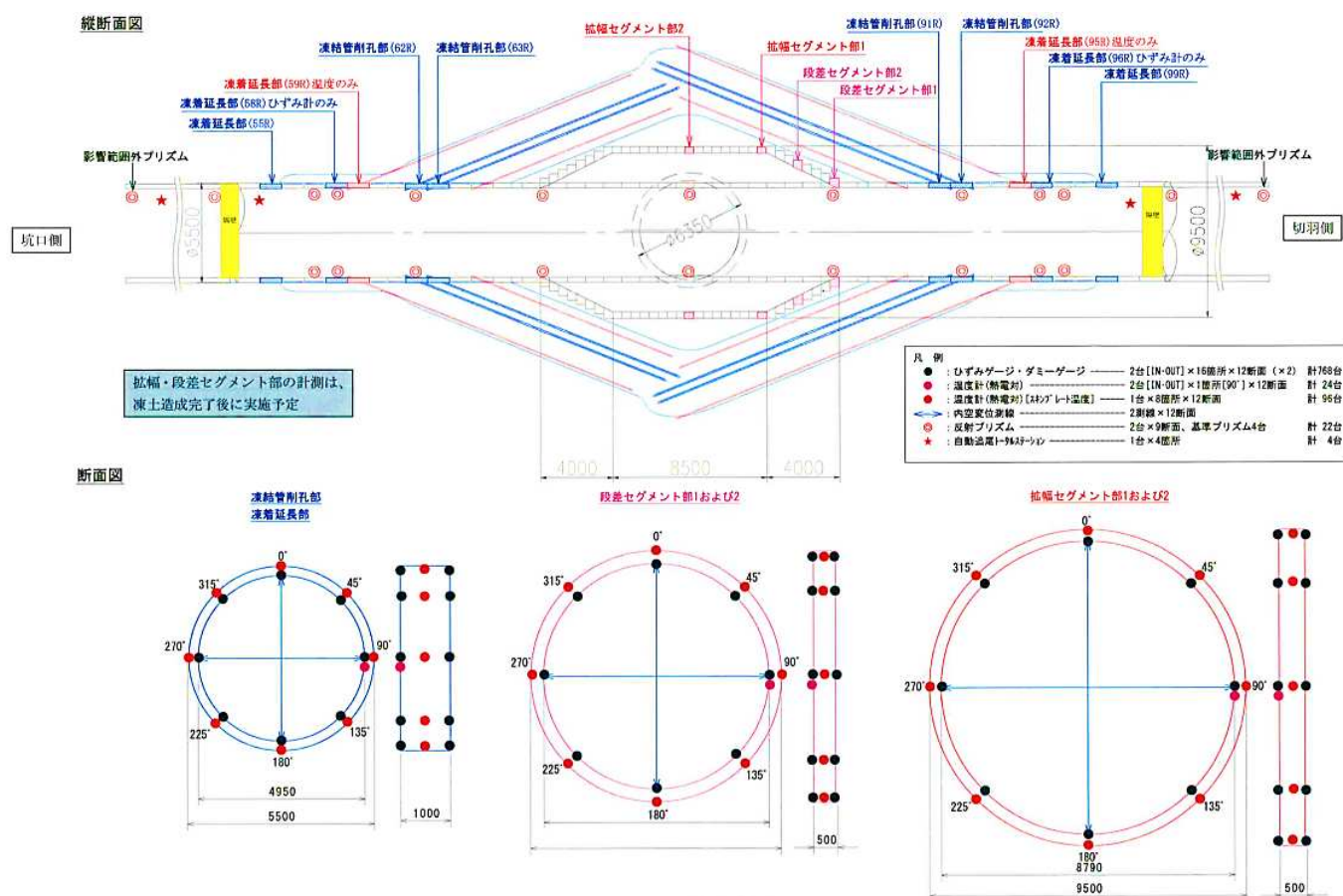


図-10 坑内計測位置図（上：縦断面，下：横断面）

1500点以上に及ぶ計測データを監視しながら施工を行っている。これらの膨大な数の計測データを個別にグラフ化し複数の管理モニターに表示する従来の管理手法では、計測データの変動と計測位置を同一画面で確認できないことによる判断の遅れや、同種データ間の相対的な差異または異種データ間の相関関係の見落としなどが生じ、異常事態を瞬時に察知できない点に問題があった。

そこで、計測データの値に応じて色が変化する図形要素を実際の計測位置に合わせて 3D モデル空間上に配置し、全計測データを単一画面上で一元管理することができる CIM モデルを開発した（図-11～図-13 参照）。これにより、従来多くの時間を要してきた計測データの確認作業が、視覚的・直感的な情報表示により迅速化され、計測データ相互の関係性や異常値を位置情報と紐付けて容易かつ瞬時に検出できるようになった。

(3) 重機シミュレーター

本工事の拡幅工では、セグメントの撤去・組立を行うハンドリング機（図-14参照）の他、凍土切削機、高所作業車、バックホウなどの重機数台が、凍結設備類が輻輳する内径4.95m、延長19.7mの狭隘なトンネル坑内にて作業を行う計画であった。そのため、各重機をどこに配置しどのように操作すれば効率的かつ安全に作業を遂行できるかを詳細に検討する必要があった。従来であれば二次元図面上で検討するのが一般的だが、作業の特殊性を考慮すると、二次元上で検討を行うのは非常に困難であり、三次元的な視野で重機の配置や操作手順を検討する必要があった。

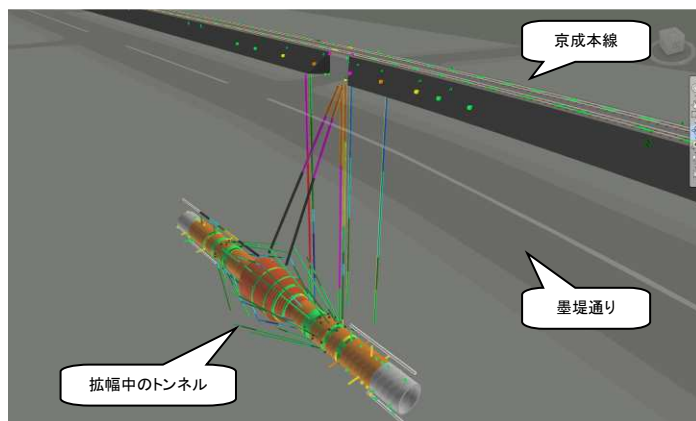


図-11 計測データの見える化（全体）

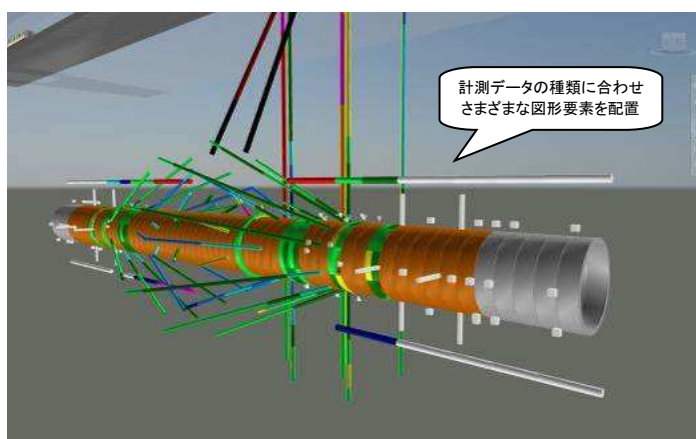


図-12 計測データの見える化（トンネル周辺）

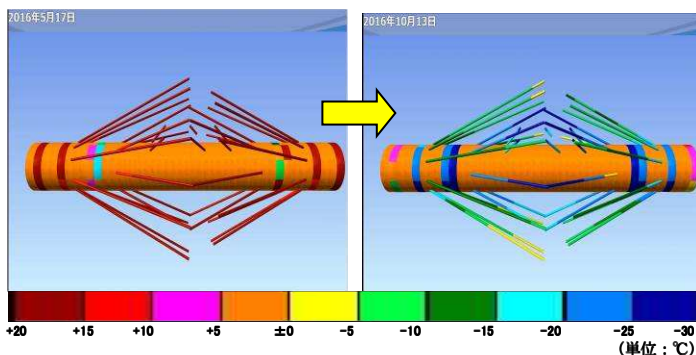


図-13 CIM 上での測温管とセグメントの温度変化



図-14 ハンドリング機の動作試験状況

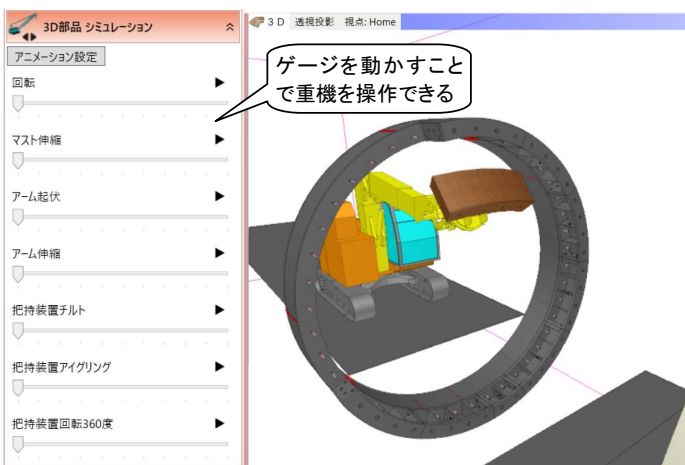


図-15 重機シミュレーター

そこで、坑内環境を模擬したトンネルの3Dモデルと、PC画面上のゲージの操作により動作可能な重機モデルを組み合わせ、拡幅工検討用の重機シミュレーターを構築した（図-15～図-16参照）。これにより、坑内の実状に則した机上での施工シミュレーションが可能となり、現場合わせで対応せざるをえなかった細かな重機の動きを事前に検討できるようになった。

4. まとめ

隅田川幹線その3工事では、2015年度からCIMモデルの開発・導入を推進し、現在も三種類のCIMモデルを施工管理に活用しながらその効果の検証を行っている。表-2に、本工事で現在までに得られたCIMの効果と今後の課題についてまとめる。

今までの土木工事では、二次元の図面を用いた施工管理が行われてきたため、3DモデルをベースとするCIMによる施工管理はなかなか現場に浸透しづらい実情がある。しかしながら、CIMモデルをうまく活用することで、従来はさまざまな情報を基に熟練者の頭の中で導かれていた施工管理の“最適解”に、経験の少ない技術者でも近づくことができると実感することができた。今回の知見を活かし、今後もさまざまな現場へのCIMモデルの活用を推進し、安全・品質・生産性のさらなる向上に取り組んでいく。

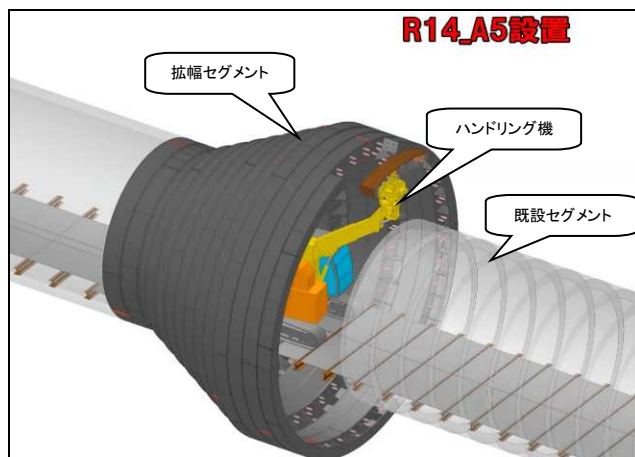


図-16 トンネル拡幅工のシミュレーション

表-2 CIM で得られた効果と今後の課題

	CIM により得られた効果	今後の展開
①凍土造成過程の見える化	・現実には見ることでできない凍土の成長過程をリアルタイムに変化する 3D モデルとして見せることができる。 ・凍結管の追加埋設や凍結範囲の変更等に関する検討に活用できる。	・現場の測量結果を吸い上げ、3D に反映し、施工にフィードバックするまでの過程の効率化
②計測データの見える化	・単一画面による複数のデータの一元管理が可能であり、膨大な計測データを扱う場合に有効。 ・計測値を色に変換して表示することで、視覚的・直感的な状況把握が可能。	・計測データの視認性の向上 ・管理値を超過したデータが生じた際のアラーム機能の追加
③重機シミュレーター	・施工前に机上で重機の詳細な動きを検討できるため、従来現場合わせで対応せざるをえなかった不確定要素を解消することができる。	・実際の運転室の再現（操作レバーの導入等） ・バーチャルリアリティとの連携による現実に近いシミュレーション
共通	・CIM モデルを介すことで、経験の浅い技術者でも施工管理に関わる情報を理解しやすくなる。	・CIM に精通した技術員の育成 ・CIM の開発・導入に要するコストの負担軽減 ・定量的な効果検証

参考文献

1) 国土交通省「CIM 導入ガイドライン（案）」平成 29 年 3 月 31 日公表