

13. シールドトンネル CIM 管理システムの開発及び適用事例

西松建設株式会社 土木部土木 DX 推進課 ○ 原 久純
 西松建設株式会社 デジタル技術革新部 田中 勉
 西松建設株式会社 横浜湘南道路工事事務所 長沢 勇樹

1. はじめに

国土交通省が推進している i-Construction の施策により、BIM/CIM(Building/Construction Information Modeling, Management)が加速している。2023 年度からは小規模を除くすべての公共工事で BIM/CIM 原則適用となり、一連の建設生産・管理システムにおいて、受発注者双方の業務の効率化・高度化が促進されることになる。

施工者側に限っても、合意形成の迅速化や理解促進、施工リスク削減といった目線で、各分野において 3 次元モデル活用の取組みが活発に行われている。シールドトンネル工事では、複雑な地質や計画路線上に多数の既往の施設、既設の埋設物等が存在し、リスク削減・施工管理の高度化は非常に重要な位置付けとなるため、BIM/CIM の活用が大いに期待される分野である。

現状、シールドトンネル工事における 3 次元モデル活用の具体例としては、地質構造等の事前で得られる情報から詳細な「3 次元地質モデル」を基に BIM/CIM モデルを構築し、セグメント毎の地質変化の予測へ活用した事例等が挙げられる。しかし、掘進中に得られる計測データとは独立しているため、集積した掘進情報と 3 次元の地質情報を一元管理し、汎用的な 3 次元ビューワソフトを基に、簡便な操作性と施工情報の閲覧、共有が可能なシールドトンネル CIM 管理システムを開発した。

本稿では、開発したシステムの概要と機能、特徴を概説するとともに、現場での適用例について報告する。

2. シールドトンネル CIM の先行事例及び課題

シールドトンネル工事での BIM/CIM の活用においては、詳細な地質情報を 3 次元モデル化し、「シールドトンネル CIM」として構築した先行事例がある。予め入手した地質情報を基に 3 次元地質作成ソフト「Geo-Graphia」¹⁾で詳細な地質モデル及び周辺構造物を作成し、3 次元モデルから任意測点の地質断面図を作成することで、シールド

切羽面の地質変化を予測、線形上の支障物との位置関係を対比、構造物の撤去方法に活用したという事例がある。

しかし、この工事では以下の 3 点が課題として挙げた。

- ① 広範囲かつ複雑な地質モデル、施工情報の蓄積により、ビューワソフトの動作が遅くなる。
- ② 地質断面図、周辺構造物は 3 次元モデル化しているが、シールドマシンの現在位置との位置関係が把握し辛い。
- ③ シールド掘進中の様々な自動計測データを集積・トラブル予兆の早期発見等を解析・診断するシステムとは独立した運用に留まっている。

3. シールドトンネル CIM 管理システムの概要

本開発システムは、Autodesk 社の「Navisworks Manage」のアドオンソフトであり、シールドトンネル工事における施工計画の効率化を支援するシステムである。システムは、従来のシールドトンネル CIM で作成した 3 次元地質モデル、掘進情報を集積しているシールド自動解析診断システム²⁾を「Navisworks Manage」へ属性情報として取り込み、必要な情報をビューワー上に簡便に表示でき、動作性も向上している。

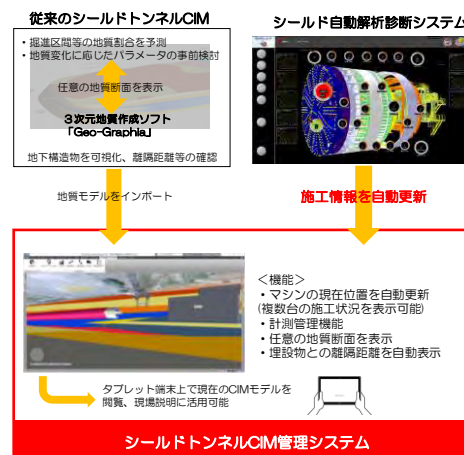


図-1 シールドトンネル CIM 管理システム 概念図

3.1 本システムの構成

開発したシステム構成を図-2 に示す。本システムはビューワーソフト「Navisworks Manage」へ3次元地質モデル、周辺構造物等を取り込むことで、既存ソフトの動作遅延を解消している。掘進中の施工状況を可視化する機能として、下記3つで構成している。

- ① 掘進状況自動更新機能
- ② 地質断面図表示機能
- ③ 離隔表示機能

本システムでは、設計図面よりシールドマシン、セグメント、周辺構造物、地質情報の3次元モデルを作成し、「Navisworks Manage」のアドオンソフトの各ボタンを押すことで操作性を簡便化している。



図-3 自動更新機能の構成



任意の計測データ(沈下計測等)を選択し、計測値を常時更新

図-4 掘進状況表示機能

シールドトンネルCIM管理システム

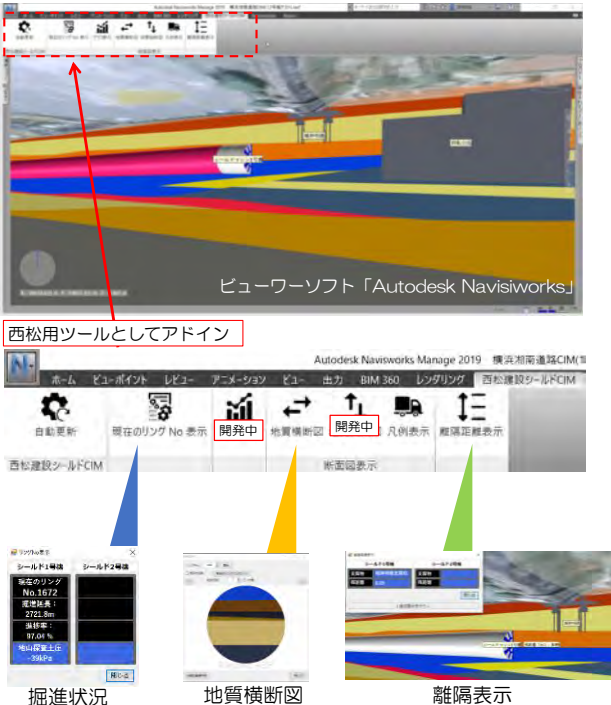


図-2 シールドトンネル CIM 管理システム 保有機能

3.2 本システムの保有機能

本開発システムは以下の機能を有する。

(1) 掘進位置自動更新機能

設計図面を基にセグメントをモデル化し、1リング毎に座標情報を登録する。所定のフォルダへ掘進情報ファイルを随時更新し、現在の「セグメント番号」を読み取り、セグメント番号に対応した座標からシールドマシンの3次元モデルの位置を修正、ビューワーソフトへ自動的に反映可能である。

また、本システムは複数台のシールドマシンの掘進情報を取込み可能なため、各シールドマシンの現在位置を下記表示機能に描画出来る。

(2) 地質断面図表示機能

3次元地質モデルの任意座標として、セグメントの1リング毎に地質断面図を作成、CADデータとしてNavisworksへインポート後、ビューワー用の断面図へ変換している。地質断面図は表示画面の「リングNo」を指定することで、任意の地質断面図を表示出来る。また、地質断面図を送り表示することで、1リング毎の地質変化をビューワー上に表示出来る。



図-5 地質断面図表示画面

(3) 離隔表示機能

設計図面より、既設構造物のモデル・座標情報を離隔表示機能へ登録する。登録した座標情報とシールドマシンの先端座標から離隔表示ボタンを押すことで、シールドマシン先端からの距離を自動計算し、2次元図面からの計算手順を簡略化した。

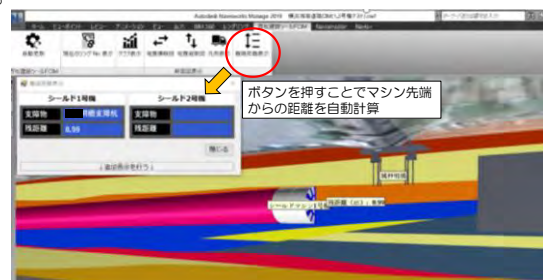


図-6 離隔表示機能

4. 現場での適用例

次に、シールドトンネル工事に適用したシステムの運用手順と運用における効果について紹介する。施工現場におけるシステム運用フローを図-7に示す。

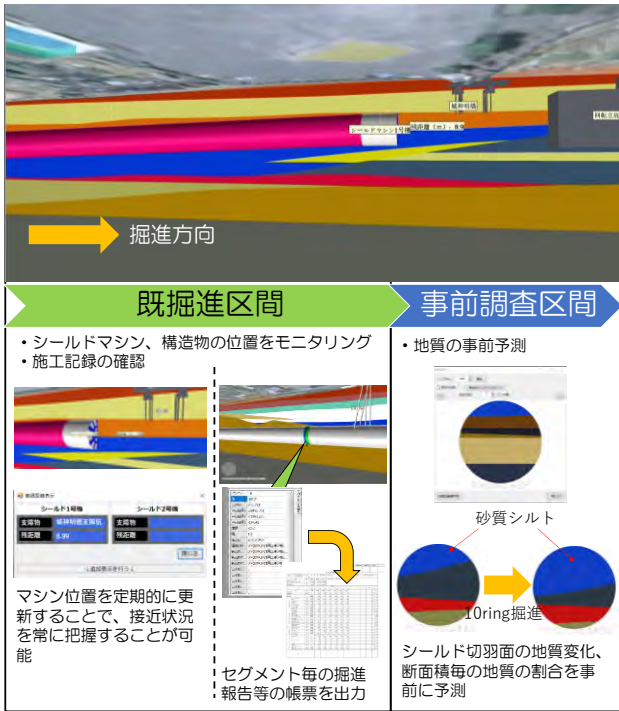


図-7 掘進中における活用フロー

4.1 現場におけるシステム適用

(1) 3次元モデル化

システム導入にあたっては、まず3次元地質ソフト「Geo-Graphia」を使用し、国土地理院の数値地図データ、地質縦断図・平面図や事前調査報告書等を用いて地質技術者の高度な知見を基盤とした詳細な3次元地質モデルを作成した。また、再構成後のモデルはDXF形式で出力することで、本システム以外の汎用ビューワーソフトでの閲覧も対応可能とした。

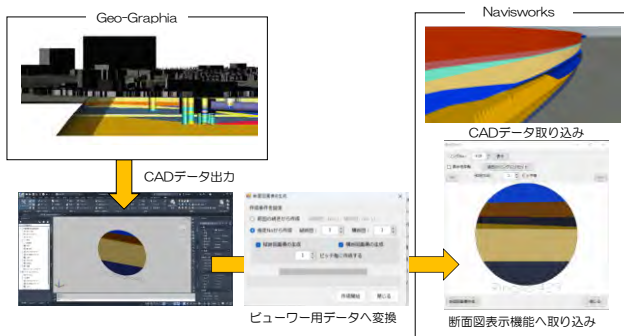


図-8 測量点群データによる現況地形の3次元モデル

(2) BIM/CIMの活用

シールドトンネル工事における施工管理の各段階で、BIM/CIMを活用した。施工計画から竣工までの各段階で想定される活用内容と期待される効果を下記に示す。

- ① 施工計画では、事前調査による地質情報（地質断面図、ボーリング情報等）から作成した詳細な3次元モデルより、現在の地質変化に伴う加泥材等の添加量設定、排土処理等の最適な施工計画を講じることができる。
- ② 掘進中は、複数のシールド掘進情報を一元化し、設計図面の埋設物との離隔距離や計測情報等を表示することで、接近状況・周辺の地質状況に応じて計測情報の見直し、施工方法の再検討による安全性の向上に寄与できる。
- ③ 各種データを一元管理しているため、施工全体の品質のトレーサビリティが確保できる。また、画像などの詳細な記録を残すことで、竣工後の維持管理への活用が期待できる。

4.2 運用における効果

本システムを施工中のシールドトンネル工事現場へ導入した。当該工事は、大断面であるため掘削範囲の地質構造が複雑であること、シールド線形上に河川及び既設構造物として橋台が存在するし、3次元モデルによる事前検証により、橋台基礎との干渉が確認され、掘削前の地盤改良による橋台の安全確保が必要となった。

(1) 橋台基礎の離隔監視

本工事では、工事終点側の橋台基礎がシールド断面に支障・シールドマシンにて直接掘削する方針とし、橋台の安全性を確保するため地盤改良を実施した。また、掘進中の杭切削による地上構造物への影響を監視するため、通過前より離隔距離を明示し、接近状況を打合せ時に作業員への周知等に活用した。

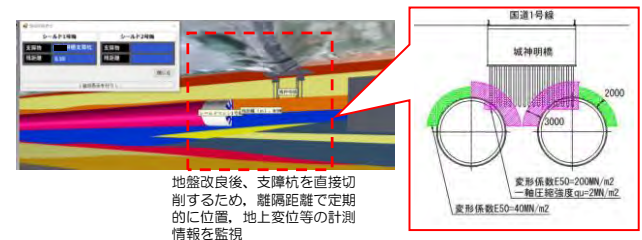


図-9 橋台基礎通過前の離隔表示例

(2) 河川通過中の地質変化、施工情報の見直し

本工事にて、詳細な3次元地質モデルを作成し、河川箇所地質変化を予測するため、シールドマ

シン切羽の地質断面図をインポートした。想定
の地質変化として、河川通過中に「固結シルト」
から徐々に「砂質シルト」への変化が想定され
た。実績として、掘進管理の「カッタートルク」
値を例とし、「固結シルト」「砂質シルト」に該
当する区間で同様の傾向が確認でき、3次元地
質モデルの地質変化と傾向を比較することで、
類似条件の工事への地質予測の精度向上に寄
与できる。

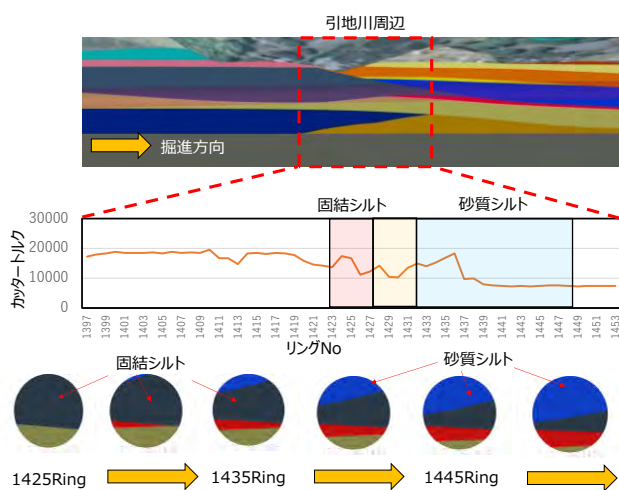


図-10 地質変化及び掘進データ比較例

5. おわりに

本稿では、シールドトンネル CIM 管理システムを紹介した。既存の汎用ビューワーソフトへ 3次元地質モデル及び掘進状況の可視化機能を拡張することで、相対的な位置関係が把握し辛い地下構造物との離隔を明示、地質変化を掘進前の予測により、施工前のリスク回避に寄与できる。今後の展望として、設計当初の 3次元地質モデルと蓄積した属性情報より地質分布との相関を検証し、添加量設定を最適化できる機能改善を図る。

最後に、本システムの開発にあたり、御協力頂いた関係各位に感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 地層科学研究所HP : <http://geolab.jp/geo-graphia/>
- 2) 田中勉, 田口毅, 坪井広美, 北本正弘 : シールド自動解析診断システムの開発, 令和2年度 土木学会第75回年次学術講演会概要集, VI-544, 2020.9