

## シールド線形3Dシミュレーションシステムの開発

（株）熊谷組 正会員 ○河越 勝

### 1. はじめに

シールドトンネルの施工管理において線形管理は最も重要な項目である。特にシールド機とセグメントの位置関係を把握することが「シールド機の方向制御」や「テール部の競りによるセグメントの損傷防止」の観点において重要であり、従来は測量結果を方眼紙に手書きでプロットして確認と予測を行ってきた。今回、Excelと機械系3次元CADを連動させシールドの曲線施工をシミュレーションすることにより、2次元の作図では測りきれない部分まで把握可能なシステムを開発した。また、Excelとの連動機能を利用してシールドトンネルのCIMモデルを作成する事も可能とした。

### 2. シールドトンネルの3Dモデル

シールドトンネルの3Dモデル化においては、その運用時期により「(1) 曲線シミュレーションモデル」と「(2) CIMモデル」の二種類を使い分ける必要があると考えた(図-1)。

「曲線シミュレーションモデル」は、施工前および施工中に運用するものであり、仮想空間にトンネルを構築し施工検討を行うものである。セグメントをリング単位で拘束して、セグメント組立方向やシールド機の方向などを可変パラメータとして施工時のシミュレーションを行う。3次元のメリットは斜め方向の測定やローリングの影響確認が容易なことなどである。

「CIMモデル」は、施工後に運用するものであり、実際に組み立てた位置にセグメントを配置して、リング単位で掘進データなどの属性を与えて維持管理にも活用するモデルである。

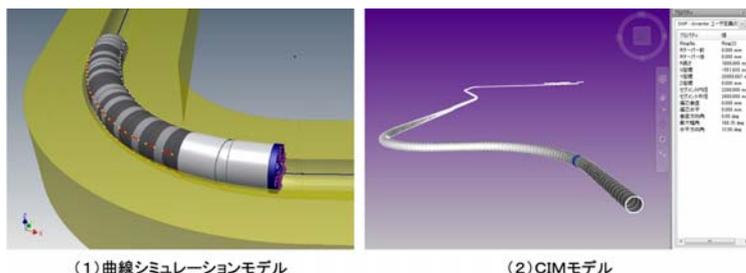
#### (1) 曲線シミュレーションモデル

1) 概要：本システムの特徴は、Excelシートに入力した可変パラメータに連動して、3DCAD上のモデルが変化することである(図-2)。

これにより3DCADの複雑な操作を行わずに仮想空間でのシールドの動作シミュレーションを行うことが出来る。①まず、測量結果をExcelシートに入力することで現状の3Dモデルが作成される。②現状把握後、今後のセグメント組立計画やシールドのコントロール計画を入力し、数リング先のシールド先端位置やテールクリアランスの変化を検証する。③検証を繰り返し、最適結果を施工計画に反映する。

2) 目指す効果：以下に示す手段により、「トンネル蛇行量の低減」と「セグメントの損傷防止」を図る。

- ・計画段階におけるセグメントの割り付け計画やシールドスペックの検証
- ・施工段階におけるセグメント組立計画（テーパ使用位置および組立方向）の検証
- ・施工段階におけるシールド機の制御計画（中折れ角、ジャッキストローク差など）の検証
- ・施工段階における蛇行量予測および蛇行修正計画



モデル	運用時期	内容・項目
1)曲線シミュレーションモデル	施工前	セグメントテーパ量検計 セグメント割付 シールド装置中折れ角チェック テーパセグメント使用シミュレーション ジャッキストローク差シミュレーション
	施工中	中折れ角設定シミュレーション 蛇行量変化予想 クリアランス変化予想
2)CIMモデル	施工後	セグメント種類、組立方向、蛇行量を自動モデリング ↓ NavisWorks (CIMソフト)に取込み、属性(リング報、検査記録等)を付加

※モデリングは機械系3DCAD (Autodesk Inventor)とExcelの連動により実施。

図-1 シールド3Dモデル

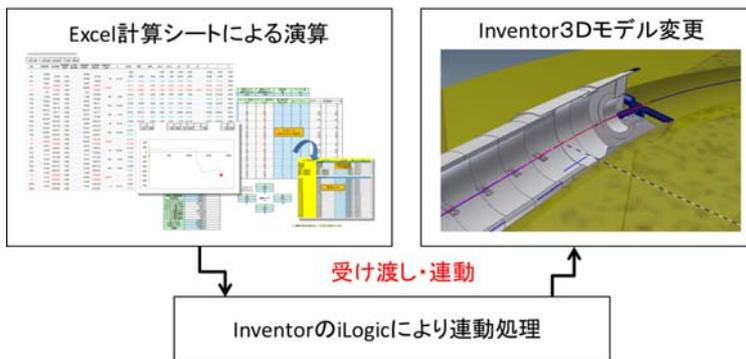


図-2 曲線シミュレーションにおけるデータの流れ

キーワード シールドトンネル, 線形シミュレーション, 3次元CAD, Excel連動, CIM

連絡先 〒162-8557 東京都新宿区津久戸町2-1 株式会社熊谷組 土木事業本部 シールド技術部 TEL 03-3235-8649

3) モデル例：図-3 にモデル例を示す。切羽部のセグメント（黄色囲み部分）が測量結果に基づき 3D モデル上に固定配置され、それに連結して予測セグメントが配置される。予測セグメントはリング継手面と中心点を拘束し、組立方向やテーパ量は Excel シートに入力されたパラメータに従って変化させるものとした。これにより、実際の組立作業と同様の動きを仮想空間内で実現させた。また、シールド機のジャッキストローク差、中折れ角などを変化させることで設計中心線とのズレを目視確認できる。

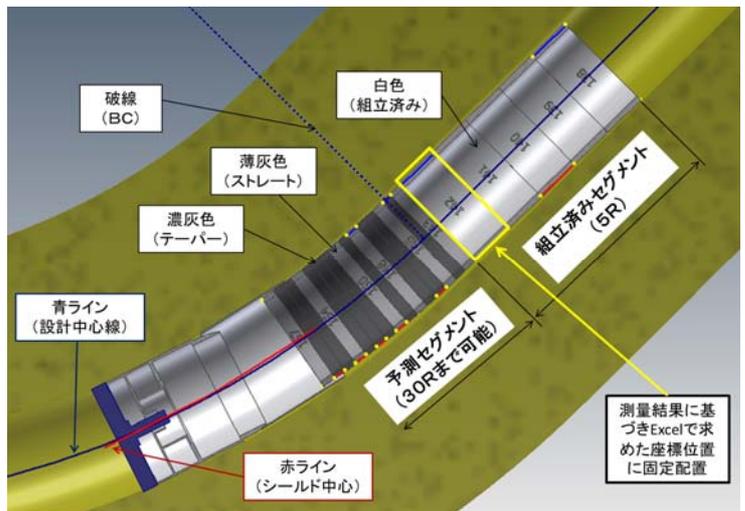


図-3 曲線シミュレーションモデル例

5) 作図例：Inventor は任意の方向の断面を 2 次元図として表示することが可能である。図-4 は水平方向の断面を出力したものであり、蛇行量を数値で確認できる。また、テールクリアランスも任意の位置で確認できる。

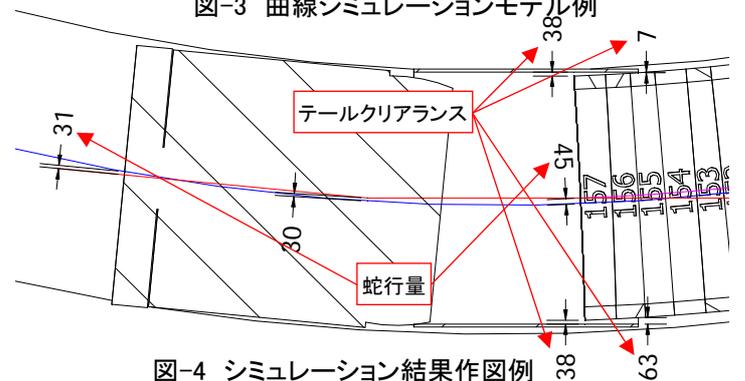


図-4 シミュレーション結果作図例

施工シミュレーションを用いて蛇行量とテールクリアランスを予測することにより高品質なトンネルの築造が可能となる。

(2) CIMモデル

CIM とは 3 次元モデルに、属性情報（部材の仕様、施工データ、品質記録など）を付加し、計画や施工時のみならず施工後の維持管理まで活用を図るものである。今回、Excel と Inventor の連動機能を活用して、トンネル全線のモデル化を行った。Excel シート上でセグメントリングの情報を入力することで、自動でトンネルの 3D モデルが作成される。これに地表面の標高データと写真画像や地層境のデータを合成することにより図-5 のような複合 3D モデルが作成される。更に CIM の標準的ソフト NavisWorks 上で掘進記録や検査記録などの施工データを属性として付加することにより、CIM モデルとなる（図-6）。

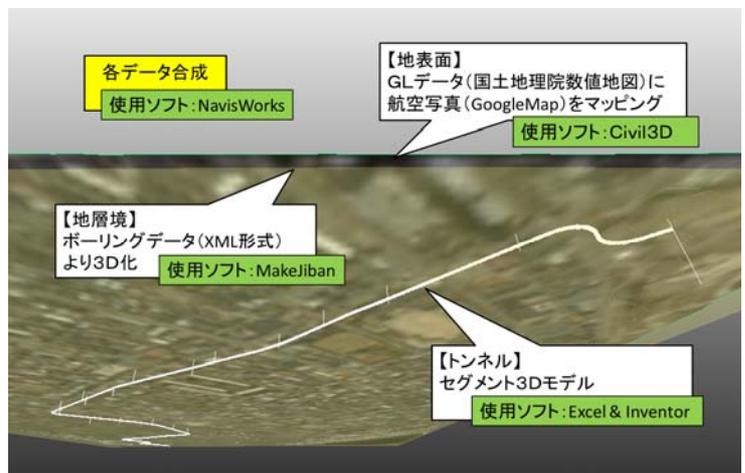


図-5 複合3Dモデル例(トンネル下部より見上げた視点)

3. まとめ

今回開発したシステムは、Excel シートを操作することにより 3D モデルを制御するものであり、殆どのシールドトンネルに適用可能である。現在、千葉県発注の下水道工事現場で稼働させながらバージョンアップを図っているところであるが、今後、CIM モデルへの展開を図り、シールドトンネルの品質向上を目指す所存である。

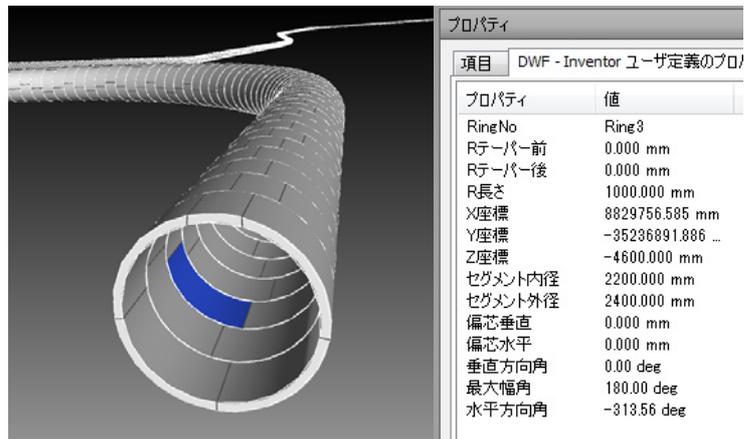


図-5 CIMモデル例(NavisWorks 上で属性管理)