

シールド線形3Dシミュレーションシステムを活用した曲線施工管理

(株)熊谷組 正会員 ○奥川 考透
 (株)熊谷組 宮川 克己
 (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。今回、新たに自社開発した「シールド線形3Dシミュレーションシステム」を実工事に活用して良好な結果を得たので以下に報告する。

2. 工事概要

- ・工事内容：新設する処理場の処理水を河川へ放流するための管渠築造
- ・工事名称：江戸川第一終末処理場第1放流幹線築造工事
- ・発注者：千葉県
- ・施工者：熊谷・みらい・立山特定建設工事共同企業体
- ・工期：2016年3月20日～2019年3月3日
- ・工事延長 2,577.8m 管きょ工（泥水式シールド工）
 セグメント外径 $\phi 2,350\text{mm}$ $L=2,572.2\text{m}$

3. シールド線形3Dシミュレーションシステムの導入

1) 導入目的および効果

本工事のトンネルは曲線区間が路線の29%を占めており、また急曲線（ $R=13\text{m}\sim 22\text{m}$ ）のS字カーブが2箇所存在する（図-1）。また縦断曲線も3箇所あることなどより、曲線部の線形管理方法を重要視し、自社で開発した「シールド線形3Dシミュレーションシステム」を導入して線形管理を行った（図-2）。本システムは、以下の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。

- ・セグメントの割り付けやシールドスペックの検証
- ・セグメント組立計画（テーパ使用位置、組立方向等）
- ・シールドコントロール計画（中折れ角、ジャッキストローク等）

2) 使用ソフトおよび運用体制

「シールド線形3Dシミュレーションシステム」は機械設計系の3DCADのAutodesk InventorをExcelと連動させることにより、仮想空間でシールドの方向制御とセグメントの組立をシミュレーションするものであり、運用は以下の体制で行った。

- ・本社技術部：基本モデル作成，操作指導，メンテナンス
- ・作業所職員：情報入力，システム運用，施工検討

4. 線形シミュレーション作業フロー

線形シミュレーション作業のフローを図-3に示す。本システムの特徴は、Excelに入力した可変パラメータ（測量結果，セグメント組立計画，シールドコントロール計画など）に3DCADが連動してモデルが変化することである。これにより3DCADの複雑な操作を行わず

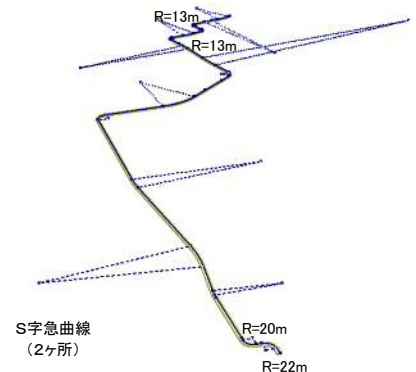


図-1 トンネル線形概要図

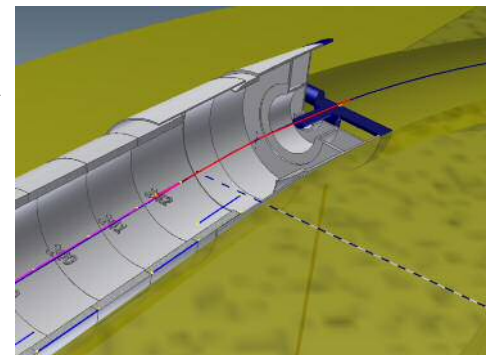


図-2 3Dシミュレーションモデル例

① 測量結果をExcelにシートに入力
 （蛇行量，セグメント向き，クリアランス，ジャッキストローク差，中折れ角など）

3DCADに反映

② 現状把握
 （シールド先端位置，テールエンド部のクリアランスなど）

③ 今後のセグメントおよびマシン配置
 （セグメント種別，組立向き，ジャッキストローク差，中折れ角，ローリング角など）

④ 数リング先の予測値確認
 （蛇行量，シールド先端位置，テールエンド部のクリアランスなど）

⑤ 確認・再検討⇒最適計画

図-3 線形シミュレーション作業フロー

キーワード シールドトンネル，急曲線，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

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。まず、測量結果を Excel に入力することで現状の 3D モデルが作成される。現状把握後、今後のセグメントの組立計画やシールドのコントロール計画を入力することで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のシミュレーションを行い施工計画に反映する。

5. 急曲線部での活用例

以下に $R=20\text{m}$ の右カーブにおける検討例を示す。検討時のシミュレーション作業は 3D モデルを目視確認して繰り返し行なったが、静止画像での説明においては平面図に出力したものを利用した。ここでは縦横縮尺比を 1 : 3 にしたもので解説する。

マシンメーカーの検討結果を平面図に出力したものを図-4 に示す。曲線施工時はシールド先端位置が設計中心線をトレースすることと、テールクリアランスが確保されていることが重要であり、この検討例は十分両者を満足している。次に、急曲線の入口における検討事例を図-5～図-7 に示す。図-4 と同様のシールド中折れ角を設定したところ、図-5 に示すようにシールド先端部がオーバーランとなる事が確認された。これは、カーブ直前のセグメントが直線用の幅 1,000 mm のセグメントであることより、クリアランスの確保を重視してストローク差を付けなかった事によるものである。図-4 と同様のストローク差を設定したものが図-6 であるが、この場合はテールクリアランスが不足し、セグメントが損傷する恐れがあることが懸念された。そこで、テールクリアランスを確保した状態でシールド先端部を設計中心線に合わせるように中折れ角を増加させたのが図-7 である。以上、曲線の入り口においては一時的に曲線内の標準的な中折れ角より大きな角度を設定する事が良いことが確認された。

このように曲線の始端部や終端部において、シールドとセグメントの挙動が現状に即して想定できることが特に優れた機能であり、良好な施工結果を得た。

6. 本シミュレーションシステムの評価と今後の展望

従来の線形管理図の例を図-8 に示す。近年はパソコンに測量結果を入力すると現状の蛇行量がモニター表示されるシステムも多く見られるが、急曲線部においてシールドの動きとセグメントの位置関係を正確に予測するためには、図-8 の様に縦横の縮尺を変えた図面上で何度も線を引き直してシミュレーションを行う必要があった。今回、本システムを導入することにより短時間で正確に何通りものシミュレーションを行うことが可能となった。今後は、他工事への展開を図るとともに、CIM モデルとの連携を踏まえて発展させるべきと考える。

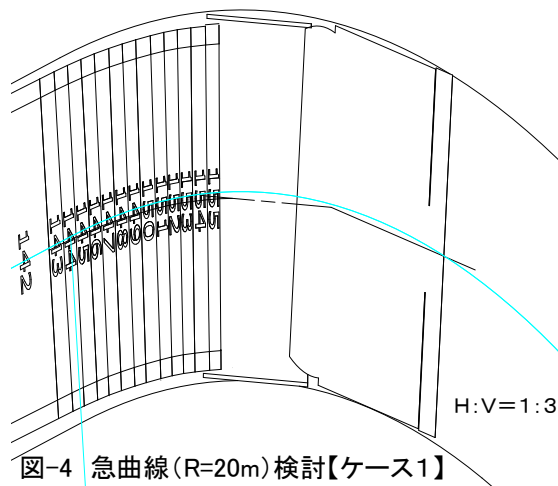


図-4 急曲線(R=20m)検討【ケース1】

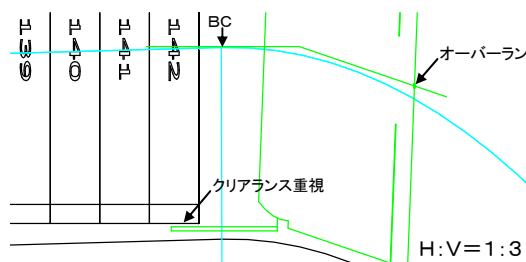


図-5 急曲線(R=20m)検討【ケース2】

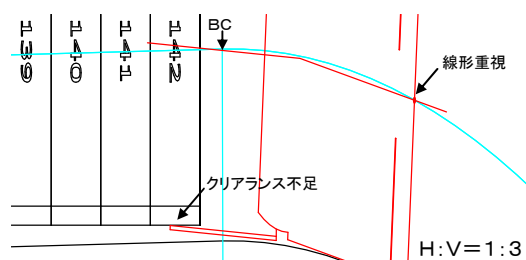


図-6 急曲線(R=20m)検討【ケース3】

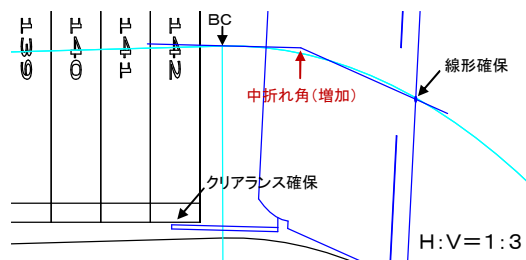


図-7 急曲線(R=20m)検討【ケース4】

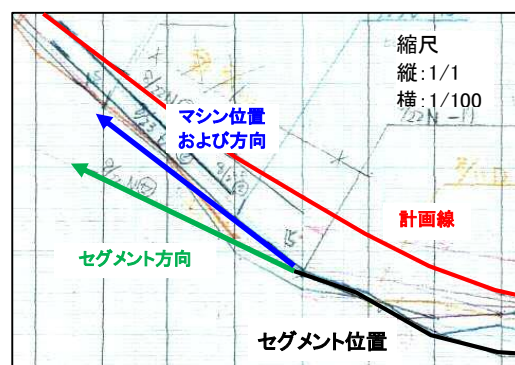


図-8 手書きによる線形管理図(参考例)