３Ｄモデルシミュレーションによる三次元シールド線形管理システムの開発

(株)大林組　正会員○上田　潤　正会員　山下　健司
正会員　日野　義嗣　正会員　真鍋　晃一

１．開発の背景および目的

トンネルの大深度化にともない，土丹などの硬質地盤を掘削するシールドが増加している．硬質地盤において，掘進中のセグメントの損傷を防止するには，シールドとのクリアランスを確保するとともに，無理なジャッキ操作によるセグメントへの偏荷重の作用を防止しながらシールドの方向を制御する．そのためには，シールドが通過する断面を確実に掘削する必要がある．とくに蛇行修正や曲線施工する場合には連続的に余掘りすることになるが，その軌跡は複雑な立体構造となる．そこで，3D モデルにより余掘りとクリアランスを立体的に管理できる三次元シールド線形管理システムを開発した．

２．シールド線形管理フロー

シールドの線形管理では，作業終了後に測量を行い，シールドとセグメントの現在位置・向きや計画線形からの偏差を確認する．そして，現状のセグメント割付計画（以下，割付計画）にもとづき，切羽先端のセグメントを起点にセグメントの組立てを幾何学的にシミュレーションし，目標とする将来位置での計画線形からの偏差を確認する（セグメント将来位置予測）．蛇行修正が必要な場合には，セグメント種別（ストレート，テーパー）やKセグメント位置（テーパーの効き位置）の変更など，割付計画を修正する．そのあと，修正した割付計画に対しシールドの進行計画を立てる（シールド将来位置予測）．このとき，セグメントとのクリアランスを確認するとともに，曲線区間では余掘り量を算出する．そして，これらの計画を反映した掘進指示書を作成する．フローを図１に示す．

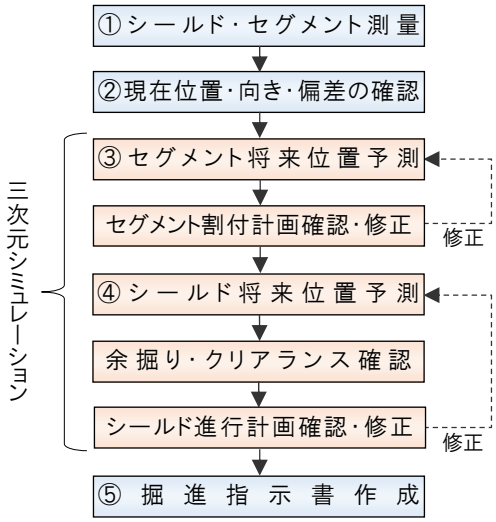

図１　シールド線形管理フロー

三次元シールド線形管理システムでは同様の線形管理フローを基本とし，セグメントとシールドの将来位置，クリアランス，および余掘りを三次元でシミュレーションする（図 2）．

３．三次元シールド線形管理システム

(1) システム概要

三次元シールド線形管理システムは，将来位置予測システムと三次元表示システムで構成される．将来位置予測システムでは，三次元でシールドとセグメントの将来位置をシミュレーションし，その中心座標値を三次元表示システムに送信する．三次元表示システムでは，将来位置の中心座標値からシールドとセグメントの 3D モデルを生成し，余掘りとクリアランスを算出し表示する．

(2) 将来位置予測システム

将来位置予測システムは，各メーカーが保有する掘進管理システムのうち，セグメント組立計画とシールド進行計画の部分を，施工経験を反映し，カスタマイズしたものである．

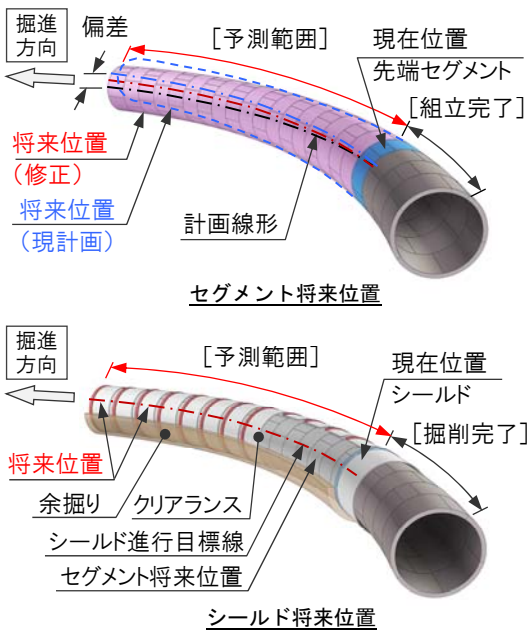

図２　三次元シミュレーションイメージ

キーワード　シールド，線形管理，三次元モデル，余掘り，テールクリアランス，テールエンドクリアランス
連絡先　〒108-8502　東京都港区港南 2-15-2　品川インターシティ B 棟　株式会社大林組　TEL03-5769-1318

1)セグメント将来位置予測（セグメント割付計画修正）

現状の割付計画に対し，蛇行修正する場合は，セグメント割付の修正方法（手動・半自動・自動），修正位置までの距離と目標偏差（水平・鉛直）を設定し，割付計画を修正する．今回，テーパーセグメント数量の制約を考慮し，テーパーセグメント配置位置やKセグメント位置の変更のみを許容する半自動の修正方法を設定した．また，シールドが既に掘削した区間（シールド現在位置）では，極端な割付変更が困難なため，その区間に組み立てるセグメントが掘削された断面内に配置されていることを確認する機能を追加した．フローを**図 3** に示す．

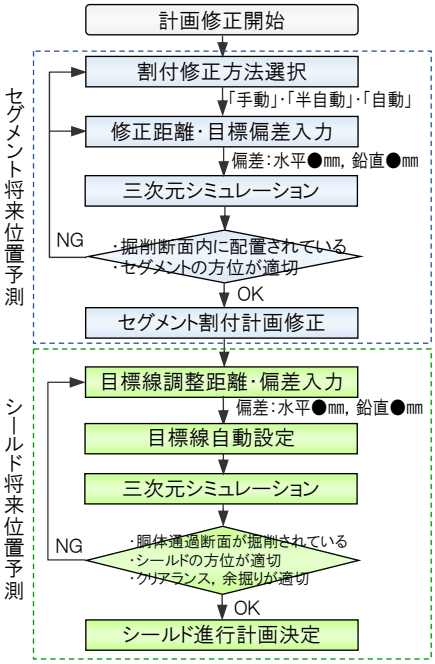

図 3　将来位置予測フロー

2)シールド将来位置予測（シールド進行計画）

割付計画から設定される目標線上をシールド管理点が進むようシミュレーションする．今回，シールド管理点を現場ごとに任意に設定できるようにするとともに，クリアランスの偏りからシールドとセグメントの相対位置関係を改善したい場合には，目標線を調整できるようにした．また，シールドが既に掘削した区間では極端な方向修正が困難なため，その区間において，シールド胴体が通過する断面が掘削されていることを確認する機能を追加した．フローを**図 3** に示す．なお，将来位置予測は，シールド進行計画，割付計画修正の順に実施することも可能である．

(3)三次元表示システム

三次元表示システムは，CIM に用いられるソフト「Navisworks」のアドオンである「Navis+」をカスタマイズしたシステムである．余掘り・クリアランスを算出するための 3D モデルの生成は，「AutoCAD」のプラグインで自動処理する．余掘り・クリアランスの表示は，判別しやすいコンター表示とした．

1)余掘りの算出

将来位置（10cm ごと）の中心座標値をもとにシールドを 3D モデル化する．カッターヘッドに格子点を生成し，その格子点が通過する軌跡とシールド胴体が通過する軌跡との最大離隔を必要余掘り量として，コピーカッターの出しろとその範囲を算出する．

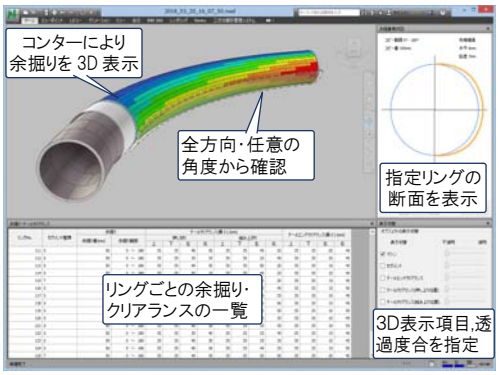

図 4　余掘り表示画面

2)クリアランスの算出

将来位置（1 リングごと）の中心座標値をもとにセグメントを 3D モデル化し，その外周面に格子点を生成する．各格子点とシールドテール部内面の通過軌跡との離隔をテールクリアランス・テールエンドクリアランスとして算出する．なお，クリアランスは 1 リング掘進ごとの押上り，組上り時の値も算出する．

3)余掘り・クリアランス表示

余掘り・クリアランスは，その値に応じてメッシュごとに色別するコンターにより表示する．メッシュの大きさは格子点数の指定により任意に変更可能である．指定する任意の項目・将来位置（リング単位）の 3D 表示が可能であり，マウス操作により任意の方向から余掘りやクリアランスを立体的に確認できる（**図 4, 5**）．

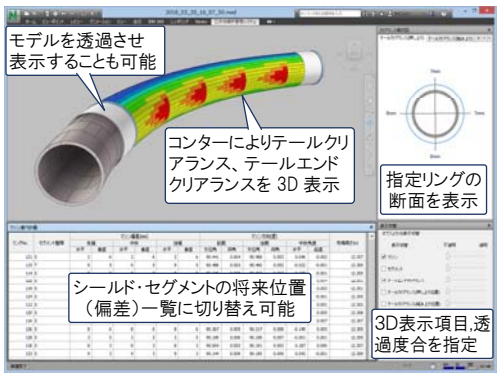

図 5　クリアランス表示画面

4．おわりに

今回開発したシステムは，三次元で余掘りを把握できることから，急曲線や平面曲線と縦断曲線が複合する複雑な線形の管理にも活用できる．次回は，適用を予定している外環のシールド工事の施工結果を報告する．

【参考】今田徹：シールド掘進を安全に行うために，シールド工法技術協会シールドセミナー，平成 27 年 2 月 20 日