

ボクセルモデルを活用した各種条件の考慮が可能な大型造成工事の工程作成システム

鹿島建設（株） 正会員 ○安田和弘、小原隆志、人見志郎、岡山 誠

1. 目的

大型の造成工事において、円滑に施工を進めるためには、計画段階での適切な工程作成と、施工途中に実績を反映させて工程を日々見直し・改善することが重要である。ただし、工程作成に考慮すべき事項は、単純な切土・盛土の順番だけでなく、切土の土質・岩質種類に応じた掘削方法の選定、発生する掘削土の土質種類に応じた土配計画・盛土場所選定、仮設道路計画、付帯構造物との取り扱いなど、多岐にわたる。これらの条件を全て考慮した工程作成は煩雑となるため、複数の工程案を作成した比較ができないケースが多く、結果として現場にとって最適でない工程計画を基に施工が進められているケースもある。また、各種条件を考慮して工程表を作成しても、気象条件や他工事との調整、機械トラブル等で、施工中に工程の再検討・リスケジューリングが必要なケースも想定される。さらに、現場内の掘削土（切土）を重要構造物の基盤となる盛土として現場内で流用する場合、盛土された材料に関する情報・トレーサビリティが施工中・竣工時のみならず、維持管理段階でも重要となる。これらの課題を解決するためには、各種条件を考慮して、迅速に工程を計算できるシステムが必要であるが、現状の既存システム・アプリ等では適当なものがない。

本稿では、上記の条件を考慮して造成工事の工程を計算できるシステムを開発したので、その内容について記載する。

2. 工程計算方法

開発する工程作成システムは、上述したような条件を考慮可能にするとともに、日々の施工管理での活用を可能とするために、日単位の工程表が作成可能なものとした。また、施工中・竣工後の維持管理でも活用可能する

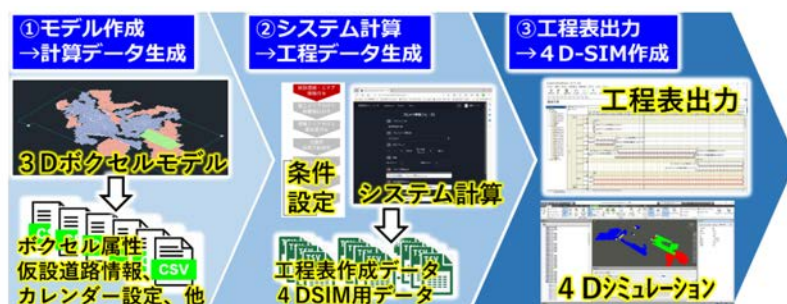


図-1 工程作成システム フロー

ために、施工情報が適切に付与できるものとした。開発したシステムの検討・計算フローを図-1に示す。開発したシステムの構成・フローは、①モデル作成：計算対象の地形データの3次元化とその属性データの抽出・生成、②システム計算：条件設定をした上で、予め検討した計算ロジックを組み込んだプログラム・システムによる工程データ生成・出力、③工程表出力：システムで生成・出力したデータによる工程表作成と4Dシミュレーション（以下4D-SIM）作成、である。

「①モデル生成」については、現地のボーリング調査のデータを基に作成した地層・岩級データと現況地形を用いて、土質データが考慮された現況地形の3次元モデルを作成し、そこに設計の造成断面図を重ね合わせることで、切土・盛土範囲を設定した（図-2）。なお、現況地形のデータをそのまま使うと、複雑な地形データを考慮した日単位レベルの工程表作成が困難であったため、本システムでは、3次元モデルを1日の施工量に応じて分割し、切土・盛土範囲の全てをボクセル形状にモデル化した（今回のケースでは1日当たり施工量＝

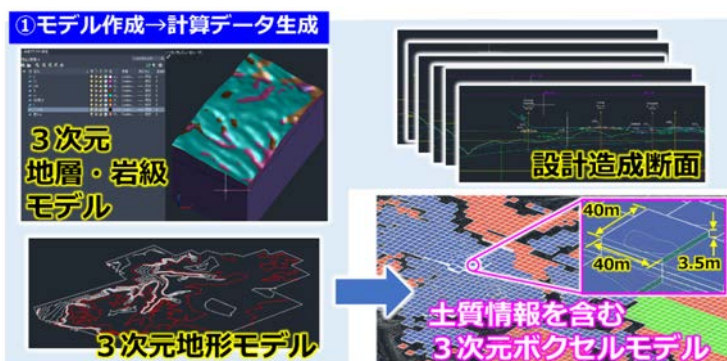


図-2 ボクセルモデル作成方法概要

キーワード 造成工事，工程作成，ボクセルモデル，4Dシミュレーション，生産性向上

連絡先 〒107-8477 東京都港区元赤坂1-3-8 鹿島建設（株）土木管理本部 TEL03-5544-1111

約 5,600m³→縦 40m×横 40m×高さ 3.5m のボクセルで分割)。分割した各ボクセルには、属性情報として、重心座標・ボクセル固有の ID を付与し、切土ボクセルには土質情報、盛土ボクセルにはエリア情報（エリア別施工優先順、構造物基盤、付帯構造物隣接部）等を付与・出力した。モデルには切土～盛土の運搬経路となる仮設道路も設定し、その始点・終点、折れ点の座標を出力した。

「②システム計算」では、「①モデル作成」で出力・生成したモデル：ボクセルや仮設道路の座標を基にして切土・盛土の位置情報を確認し、施工順を計算した。切土・盛土の施工順を決定するための手順は、「切土：仮設道路始点位置から距離が近い、かつ標高が高いボクセル」、「盛土：仮設道路終点からの距離が近い、かつ標高が低いボクセル」とした。また、発破による掘削を行う必要がある土質のボクセル（軟岩Ⅱ以上）については、計画

のベンチ発破高さ（今回のケースでは 7 m：掘削ベンチ 2 段分）を確保した上で掘削する計算条件も設定した。その他の施工条件（休日情報、機械セット数、追加運搬情報等）はユーザーが計画・設定し、他のデータと併せて CSV 形式でデータを読み込むユーザーインターフェース・システムを構築した（図-3）。

3. 工程出力・活用方法

システムで計算したデータについては、将来的な維持管理を含めた汎用性を確保するために、市販・汎用のソフトで確認できるものとした（工程管理：(株) ウェブアイ社製：

工程's、4D-SIM：Autodesk（株）社製：Navisworks）。出力した工程管理ソフトでは各作業バーの属性情報が確認でき、4D-SIM では工程進捗をアニメーションで確認できる（図-4）。

なお、現地の土質調査を実施し、当初計画と想定が異なっていた場合には、土質情報を修正して再計算する必要があるが、本システムでは対象範囲の切土ボクセルの属性情報変更のみで再計算可能である。また、現場条件に合わせて、最適化計算（トータル施工期間・運搬距離が最短）を実施する場合、仮設道路位置・エリア別の施工機械班数編成等をパラメータとした検討が必要だが、本システムであれば、軽微なモデル修正と入力条件修正のみで対応可能である。さらに、施工中の現場管理としては、進捗に合わせてボクセルに施工済み属性の付与を行うことで、日々の実績を反映するとともに、その時点からの工程再計算も可能である。

4. 本システム活用の効果

本システムを活用することで、各種条件を考慮した工程作成に要するリソースを大幅に削減・効率化できた。検討したケース（切土：約 420 万 m³、盛土：約 320 万 m³、ボクセル数：約 1,600 個）では、モデル作成と施工手順等に関する条件を設定に概ね 1 週間程度要したが、データ出力～工程作成は概ね 1～2 時間程度で可能であった（人が検討する通常の方法では概ね 3 日：24 時間程度→約 1/10 に短縮）。さらに、パラメータスタディについては 1 ケースあたり 30 分程度で可能であった。計画当初の工程作成を迅速化することで、複数工程の作成・比較検討が可能となり、最適な工程の選定も可能となる。また、施工途中でのリスクジェーリングを迅速化することで、条件変更時の工程作成迅速化により、手戻り発生防止にも繋げることが可能であり、大規模化、高速化した大型造成現場での適用が見込まれる。



図-3 工程作成用データ出力方法概要



図-4 出力データ→工程・4D-SIM 作成概要