

(49) 工事数量算出を目的とした 3次元モデルの作成に関する研究

寺口 敏生¹・青山 憲明²・川野 浩平²・関谷 浩孝²

¹ 非会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 社会資本マネジメント研究センター 社会資本情報基盤研究室 (〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地)

E-mail: nil-jyohou@mlit.go.jp

² 正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 社会資本マネジメント研究センター 社会資本情報基盤研究室 (〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地)

E-mail: nil-jyohou@mlit.go.jp

国土技術政策総合研究所では、3次元モデルを用いた工事数量算出に関する検討を進めている。平成 29 年度には、工事数量算出を目的とした 3次元モデルの作り方を研究し、平成 30 年度 4 月版の土木工事数量算出要領(案)にその成果を掲載した。本研究では、その内容に基づき、土構造物における工事数量算出を目的とした 3次元モデルを試作し、平均断面法との比較や複数の 3次元 CAD ソフトウェア間における数量算出結果の比較を通じて有効性を検証した。検証の結果、地上設置型レーザスキャナ等の成果を用いて地表面の形状を正確に 3次元モデル化すると、横断面間を線形補間する平均断面法と差が発生することが分かった。このため、数量算出結果の受け渡し時には、どのように計算したのかの情報も含めて受け渡すことが必要となることが明らかとなった。

Key Words: CIM, 3D-model, CAD, quantity calculation

1. 研究の背景

国土交通省国土技術政策総合研究所(以下、「国総研」という。)では、建設生産プロセスの効率化を目的に、BIM(Building Information Modeling)/CIM(Construction Information Modeling/Management)の導入と普及を目的とした研究に取り組んでいる。BIM/CIMでは、構造物の形状を表現した3次元モデルに材料・部材の規格や調査、設計、施工及び維持管理の各場面の情報を属性として付与して作成したBIM/CIMモデルを建設生産プロセス全体で流通・活用させることを想定している。

国土交通省が平成 28 年度に実施した CIM 試行事業の調査結果¹⁾によると、BIM/CIMの導入により特に効果があった活用場面として、設計段階では「関係機関との調整、打合せ協議」と「計画・設計条件の確認」において有効性が確認された。また、施工段階では「関係機関との調整、打合せ協議」と「施工計画、施工管理への利用」において有効性が確認された。その一方で、効果が見込まれていた工事数量算出では、ほとんど活用されていないのが現状である。その理由として、「用途・目的に応じた 3次元モデルの作成手順が不明」であり、「3

次元モデルの指針(活用方法・表現方法等)が存在しない」点が指摘されている。また、平成 29 年度の土木工事数量算出要領(案)²⁾では、「CAD ソフト等による算出結果について、適宜結果の確認をした上で適用できるものとする」と定めているが、3次元モデルによる数量算出結果をどのように確認すれば良いかは提示されていない。

そこで、国総研では、工事数量算出に利用可能な 3次元モデルの作成方法に関する研究に取り組んでいる。当該研究成果は、平成 30 年度 4 月版土木工事数量算出要領(案)³⁾にて掲載されている。本論文では、当該研究の実施内容のうち、土構造物における工事数量算出を目的とした 3次元モデルの作成方法について論ずる。

2. 既存研究

3次元モデルを用いた数量算出に関する取り組みとして、影山ら⁴⁾は、鋼橋の上部と橋梁下部を対象に、土木工事数量算出要領(案)²⁾に従った工事数量算出を行うための 3次元プロダクトモデルの構築手法を提案してい

る。当該研究では、実体を表す形状情報（entity）、実態間の関連（relationship）及び単位や規格等を表す属性情報（attribute）の3つの要素を用いて3次元プロダクトモデルを表現し、それと連携可能な数量算出項目及び区分を用いてデータ構造を定義している。これにより、部材単位で表現しやすい鋼構造物やコンクリート構造物に関しては、3次元プロダクトモデルで表現できることが示された。その一方で、土構造物の3次元モデルの作り方は、土木工事数量算出要領（案）の土工章⁹⁾にて、点高法、TIN（Triangulated Irregular Network）分割等を用いて求積する方法及びプリズモイダル法等の3次元CAD（Computer-Aided Design）を用いた体積計算の基本的な考え方のみが示され、地層や施工区分の表現方法に関する言及がない状態であった。i-Constructionの推進により、地上設置型レーザスキャナやUAV（Unmanned Aerial Vehicle）などで地表面の計測データが面的に取得⁹⁾されることを考慮すると、横断面間を線形に繋ぐ平均断面法の考え方を3次元モデルにそのまま適用することも難しいと考えられる。

以上の背景を踏まえ、本研究では、土構造物の数量算出に用いる3次元モデルの基本的な表現方法を検討する。

3. 本研究の概要

本研究では、工事数量算出を目的とした3次元モデルの作成方法として、地表面や地層及び施工区分をサーフェスモデルとして表現する方法を検討する。本研究で検討する土構造物の3次元モデルは、地表面や地層面をモデル化した「3次元地盤モデル」と、盛土や掘削等の土工における施工基面、路床面及び法面等をモデル化した「土工モデル」からなる。

3次元地盤モデルは、地表面と地層面で作成方法が異なる。地表面の3次元地盤モデルは、i-Constructionの計測データを基にサーフェスモデルとして作成する。一方、地層面の3次元地盤モデルは、ボーリングデータ等に基づく地質断面図を用いて土質区分を表現した20m間隔の横断面間を平均断面法と同様に一時比例で補間することにより、サーフェスモデルとして作成する。3次元地盤モデルを図-1に示す。

土工モデルは、掘削におけるオープンカットや切取幅及び盛土における施工幅員等の境界をサーフェスモデルとして作成する。土工モデルを図-2に示す。

これらのモデルを重ね合わせることで、工事数量算出のための土構造物の3次元モデルを構築する。土構造物の3次元モデルの例を図-3に示す。

土構造物の3次元モデルを用いた数量算出では、3次元地盤モデルと土工モデルを重ね合わせて、各サーフェ

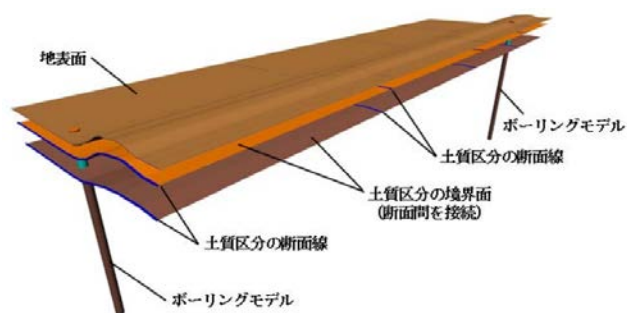


図-1 3次元地盤モデル

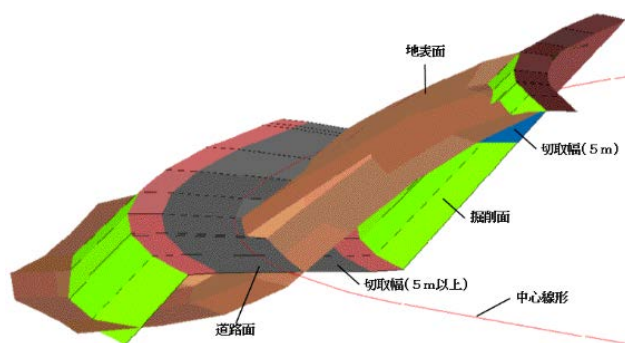


図-2 土工モデル

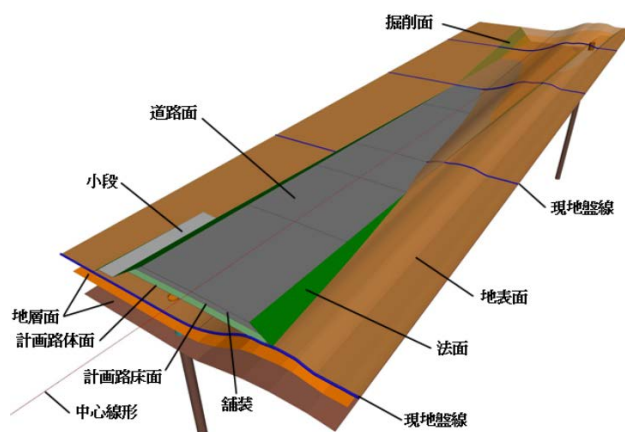


図-3 土構造物の3次元モデルの例

イスの標高差を求め、点高法等を用いて工事数量を算出する。

4. 実証実験

(1) 実験の概要と目的

複数の市販の3次元CADソフトウェアを用いて、第3章の内容に基づき作成した土構造物の3次元モデルを用いた数量算出を試行する。本試行を通じて、本研究で論じた土構造物における工事数量算出を目的とした3次元モデルの作成方法の有効性を検証する。

本実験では、以下の2項目の検証を行った。

a) 平均断面法による数量算出と 3 次元モデルによる数量算出の比較

本検証項目では、2 次元図面を用いて数量算出する場合に用いられる平均断面法による数量算出結果と土構造物の 3 次元モデルによる数量算出結果を比較し、発生する誤差を確認する。本検証は 3 次元 CAD ソフトウェア間の違いを分析することは目的ではないため、2 本のソフトウェアで求めた数量算出結果の平均値を用いた。なお、平均断面法では地層と同様に地表面の形状も線形的に補間するが、土構造物の 3 次元モデルでは、地表面の生成に地上設置型レーザスキャナ等の計測結果を用いるため、比較対象の 2 つの数量算出手法の結果は、誤差を含むことを想定しながら結果を考察した。

b) 別々の 3 次元 CAD ソフトウェアを用いて計算した結果の比較

本検証項目では、同じ 3 次元モデルを入力として工事数量を算出する場合、2 本の異なる 3 次元 CAD ソフトウェアで発生する計算結果の誤差の程度を検証する。工事数量算出時には、点高法（一点法）と点高法（四点平均法）の 2 種類の点高法を用いた。同じ手法により数量算出した場合でも、ソフトウェアの内部で有効桁数の扱いやアルゴリズムが異なるため、結果には誤差を含むことを想定しながら結果を考察した。

(2) 実験条件

本実験では、図-4 に示す直線区間の切土モデルと図-5、図-6 に示す R の異なる 2 つの盛土モデル、計 3 つのモデルを用いた。各モデルは LandXML 形式で作成した。地表面のサーフェスは、0.5m ピッチの点群から TIN データを発生して作成した。また、工事数量の算出区間を 100m とし、切土モデルは 20m ピッチの 7 断面、盛土モデル（R=100）は 4m ピッチの 26 断面、盛土モデル（R=50）は 2m ピッチの 51 断面を基にモデルを作成した。

検証には、b) の 2 種類の数量算出手法を備える 2 本の 3 次元 CAD ソフトウェアを用いた。

(3) 検証結果

実験により得られた各検証項目に関する検証結果を以下に列記する。

a) 平均断面法による数量算出と 3 次元モデルによる数量算出の比較に関する検証結果

平均断面法により算出した土量と 3 次元モデルにより算出した土量の差を比較すると、直線区間で構成される切土モデルの場合は、誤差が 1.00% 以内に収まる結果となった。これは、直線区間で構成されたモデルの場合、地表面の凹凸のみが誤差として出力されたためと考えられる。一方、R を含む曲線区間で構成される盛土モデル

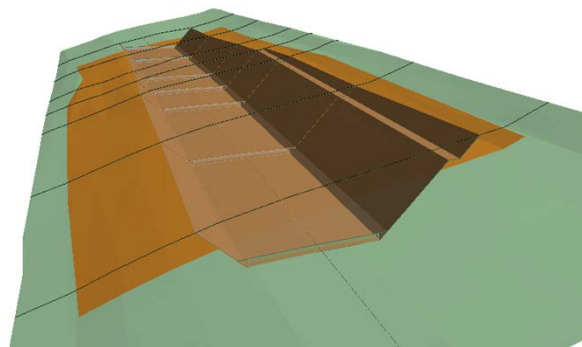


図-4 切土モデル

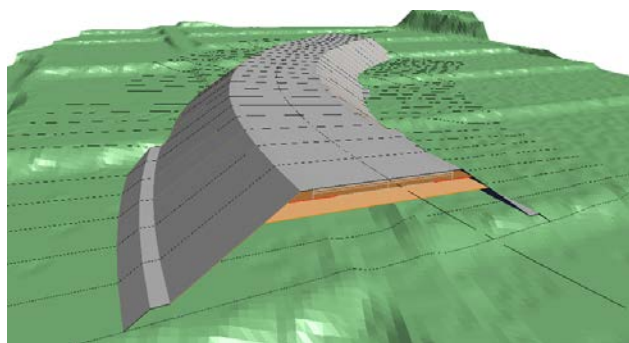


図-5 盛土モデル (R=100)

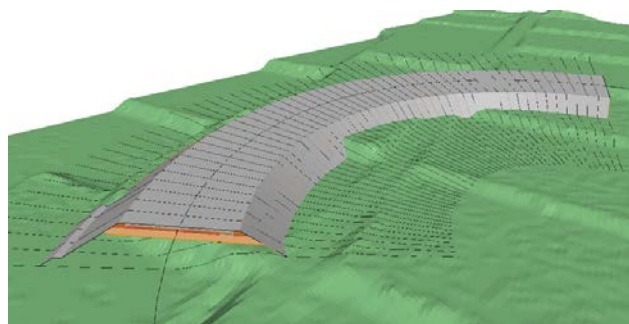


図-6 盛土モデル (R=50)

表-1 横断面の生成ピッチと各手法の平均値との差（単位：％）

検証モデル	横断面 生成ピッチ	点高法 (一点法)	点高法 (四点平均法)
盛土 (R=100)	20m	1.50	2.20
盛土 (R=50)		0.20	0.80
盛土 (R=100)	5m	0.10	0.80
盛土 (R=50)		1.90	0.80

表-2 2本の3次元CADソフトウェアの
各手法で求めた計算結果と平均値との差（単位：％）

検証モデル	点高法 (一点法)	点高法 (四点平均法)
切土	0.02	0.00
盛土 (R=100)	0.07	0.00
盛土 (R=50)	0.09	0.00

の場合は、表-1 に示す通り、横断面の作成ピッチにより、発生する誤差が変化することが確認された。基本的に、横断面の作成ピッチを細かくすればするほど、平均断面法の計算結果は、3次元モデルにより求めた計算結果に近付くが、横断面を作成した位置によって、地表面の凹凸の差に由来する誤差が増減するためである。

以上の検証結果より、平均断面法の数量算出結果に比べ、3次元 CAD ソフトウェアの方がモデルが正確であることが原因で、誤差が発生することが分かった。

b) 別々の 3 次元 CAD ソフトウェアを用いて計算した結果の比較に関する検証結果

2本の3次元 CAD ソフトウェアを用いて、2つの点高法で数量算出したところ、表-2 に示す通り、点高法（一点法）では、数量算出結果の差が 3σ （約±99.73%以内）以内に収まることが確認できた。また、点高法（四点平均法）では、小数点第二位までは数量算出結果の間の差は見られなかった。以上より、同様の数量算出手法を扱う場合、3次元 CAD ソフトウェア間で、数量算出結果の差異は極小で収まるものと考えられる。

5. まとめ

本研究では、土構造物における工事数量算出を目的とした3次元モデルの作成方法について論じ、実験を通じて有効性を検証した。検証結果より、3次元 CAD ソフトウェアを用いて算出した土構造物における工事数量と平均断面法により算出した工事数量の間に差異があることが判明した。その原因として、3次元モデルの作成時に、地上設置型レーザスキャナ等の計測データに基づく正確な地表面の形状を活用していることが挙げられる。また、平均断面法に用いる横断面の作成位置やピッチの影響が考えられる。一方で、3次元 CAD ソフトウェア間では、計算結果にほとんど差が見られなかった。以上より、設計者と発注者及び施工者間で数量算出結果の受け渡し時には、2次元図面を基に平均断面法で計算した数量か、3次元 CAD ソフトウェアで算出した数量かを明確にしておく必要があることが分かった。

今後の展開として、実施工時の図面を基に、土構造物の3次元モデルを作成可能かどうかを検証する。また、鋼構造物やコンクリート構造物について、工事数量算出のための3次元モデルの作成方法を検討する。以上の取り組みを通じて、3次元モデルを用いた数量算出の実用化に向けた取り組みを実施していく。

参考文献

- 1) 国土交通省大臣官房技術調査課：過年度の CIM 活用モデル事業フォローアップ、第 4 回 CIM 導入推進委員会資料、

国土交通省、2017. <<http://www.mlit.go.jp/common/001197208.pdf>>, (入手 2018.6.1) .

- 2) 社会資本システム研究室：平成 29 年度（4 月版）土木工事数量算出要領（案），国土技術政策総合研究所，2017. <<http://www.nilim.go.jp/lab/pbg/theme/theme2/sr/yoryo2904.htm>>, (入手 2018.6.1) .
- 3) 社会資本システム研究室：平成 30 年度（4 月版）土木工事数量算出要領（案），国土技術政策総合研究所，2018. <<http://www.nilim.go.jp/lab/pbg/theme/theme2/sr/yoryo3004.htm>>, (入手 2018.6.1) .
- 4) 影山輝彰，矢吹信喜：鋼橋を対象とした工事数量算出用 3 次元プロダクトモデルに関する研究，土木学会論文集 F3（土木情報学），Vol.73, No.2, pp.1_43-1_52, 2017.
- 5) 社会資本システム研究室：共通編 2 章 土工，平成 29 年度（4 月版）土木工事数量算出要領（案），国土技術政策総合研究所，2017. <<http://www.nilim.go.jp/lab/pbg/theme/theme2/sr/yoryo2904/s-2904-1-02.pdf>>, (入手 2018.6.1) .
- 6) 国土交通省：i-Construction で建設現場が変わります 新たに導入する 15 の基準及び積算基準について，2016. <http://www.mlit.go.jp/report/press/sogo15_hh_000150.html>, (入手 2018.6.1) .