

建設プロジェクトにおけるボクセルモデルの 適用可能性に関する一考察

前田建設工業株式会社
前田建設工業株式会社
大阪経済大学
流通科学大学
法政大学

○長田 将吾
川西 敦士
中村 健二
寺口 敏生
今井 龍一

1. はじめに

建設の公共事業では、令和6年度より受発注者間が一連の建設生産・管理システムの効率化・高度化を図るため、BIM/CIMの原則適用¹⁾が本格的に開始された。令和5年度に改正された国土形成計画²⁾においても、産業界の力を最大限発揮できるデジタルの徹底活用が掲げられており、民間企業の活躍がより一層期待されている。

日本の人口減少は他国に比べて顕著であり、2070年には8,700万人になると推計されている³⁾。将来、経済力を保持できる中心的な都市へ人口が流出することを見据えると、サービスの提供や範囲に格差が広がり、地方の社会インフラが一層弱体化することは明らかである。この課題を解決するため、オムロン社のSINIC理論⁴⁾が提唱する自律社会の実現を視野に入れ、人と調和するデジタル環境への再編を図ることで、どの地域でも同水準のサービスを受けられるようにすべきである。そのために、実社会を克明に表現したデジタルツインを用いて多様なユースケースを創出していくことが、喫緊に解決すべき足許の課題と言える。

その一策として著者らは、デジタルツイン環境の構築にボクセルモデルを活用することに着目した。ボクセルモデルは、図-1に示すとおり、実空間を立体的に分割して表現するため、形状表現の柔軟性や拡張性が高い特長を持つ。

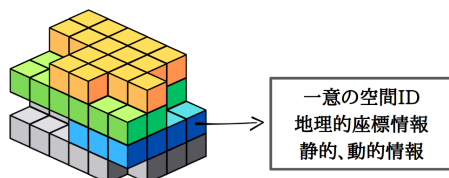


図-1 ボクセルモデルの概略図

さらに、ボクセルモデルに一意の空間ID⁵⁾を割り当てることで、地理的座標情報に加えて、静的・動的情報を付加することが可能である。空間

IDとは、ドローン運航のナビゲーションや自動運転などの実現を加速させる、三次元空間の標準規格として注目されている。この技術を踏まえ、建設プロジェクトの調査、設計、施工に対応した形状表現や、三次元空間の統一規格化を見据えたデータ管理および情報連携が期待される。建設プロジェクトの各段階で生成されるデータがボクセルモデルを通じて維持管理に活用できることが明らかになれば、実空間を写像したデジタルツインの構築に可能性を見出すことができるだろう。

本論文では、既存の3DCADとボクセルモデルの形状表現やデータ構造等の特長を比較し、ボクセルモデルの具体的なユースケースを考察する。そして、施工段階を含む建設プロジェクト全体へのボクセルモデルの適用可能性を明らかにすることを目的とする。

2. 3DCADとボクセルモデル

2.1 ボクセルモデルの特長と3DCADとの違い

3DCADは、建設業界において広く利用されているツールであり、詳細な形状や構造を三次元空間で精密に表現することができる。一方、ボクセルモデルは、立方体単位のボクセルの集合で空間を構成し、形状や情報を三次元的に表現することができる。以下に、ボクセルモデルの特長を詳述する。

(1) 柔軟性

ボクセルモデルは、空間を細かく分割して一意のIDを割り当てることで、詳細な形状や構造を表現できる。リアルタイムでのデータの追加、削除、変更にも適しており、迅速な変更管理に対応できる。さらに、付加した属性情報を基に統合することも容易であるため、異種データ形式の管理にも適用しやすい。

(2) 拡張性

ボクセルモデルは、その構造をモジュール

化できるため、部分的に他のプロジェクトに再利用できる。再利用の際には、空間の分割規模を自由に変更できるため、大規模都市モデルなど幅広く対応できる。多様な分野への応用を前提とした多目的利用も可能だ。

2.2 3DCAD とボクセルモデルの比較

3DCAD でよく使われるソリッドモデルとサーフェスモデル、そしてボクセルモデルの特徴を整理した結果を表-1 に示す。ボクセルモデルは、3DCAD で一般的なソリッドモデルやサーフェスモデルと異なり、立方体の集合による形状や必要なデータ粒度に対応した内部構造を、柔軟に表現することができる。さらに、品質管理や出来形管理などの異なる内容を各管理レベルに合わせて解像度を調整できるため、効率的な運用が期待できる。

表-1 モデルの特徴別比較表

| 特徴 | ソリッドモデル | サーフェスモデル | ボクセルモデル |
|------------|------------|----------|-----------|
| 形状表現 | 高精度な形状表現 | 高精度な表面表現 | 柔軟な構造表現 |
| データ量 | 多い | 多い | 少ない |
| 管理の容易さ | 煩雑 | 煩雑 | 容易 |
| 即時性 | 困難 | 困難 | 容易 |
| 内部構造表現 | 困難 | 不可能 | 可能 |
| 異種データ統合 | 困難 | 困難 | 容易 |
| モジュール化と再利用 | 可能 | 可能 | 容易 |
| 多目的利用 | 建設、自動車等の製造 | デザイン、可視化 | 都市計画等、多目的 |

3. 建設プロジェクトとボクセルモデル

建設プロジェクトは、計画段階から設計、施工、そして維持管理までの一連のプロセスを経て進行する。本稿は、現場施工段階のユースケースを考察しながら業務プロセスを整理する。そして、施工段階におけるデータ管理と利活用が、維持管理段階の活用に寄与するかを考察する。

3.1 建設プロジェクトのフロー

本稿では道路工を対象とした。その理由は、維持管理データベースの中でも比較的整備されている道路台帳との親和性が高く、ユースケースの検討が容易であると判断したためである。

(1) 事前調査

建設プロジェクトが着工する前に、事前調査として、地盤調査や埋設物調査、近隣家屋調査を実施する。

(2) 起工測量

工事施工前に行う測量で、工事現場形状や工事施工量を確認する。

(3) 施工計画の立案と施工計画書の提出

建設プロジェクトの全体計画を示す書類で、発注者に提出し承認を得る必要がある。

(4) 大工程、中工程レベルの工程表作成

建設プロジェクトの工程管理書類で、大工程では着工から竣工までの見通しを立て、中工程では人的・物的管理に利用される。

(5) 施工

施工計画に基づき、安全を最優先しながら計画通りに作業を進める。都度、工程管理の見直しを図り、工期に間に合わせる。

(6) 工事帳票の作成と提出

設計図書で指定された材料の使用承諾願いの作成と提出、そして設計図書に示された施工段階又は監督職員の指示した施工途中段階において、監督職員に出来形、品質、規格、数値等を確認してもらう。

(7) 工事打合せ簿の作成と提出

品質管理書類、出来形管理書類の作成と提出、そして工事履行報告書を提出する。

(8) 工事完成図の作成と提出

工事完成図（竣工図）を作成して、納める。

3.2 ボクセルモデルの考察対象範囲の整理

施工段階の各段階でボクセルモデルがどのように活用できるか、表-2 に整理した。

表-2 要素別ボクセルモデルの検討対象項目

| 施工段階の各要素 | ボクセルモデルの活用想定 |
|----------|-------------------------------------|
| 地盤調査 | ボーリング箇所 の明示とデータ登録 |
| 埋設物調査 | 埋設位置の可視部と不可視部の明示と健全度データ登録 |
| 起工測量 | 設計図に起工測量結果を反映させた 3D モデルを作成後、ボクセルに変換 |
| 大工程 | 工種情報を抽出 |
| 中工程 | 工種・細別情報を抽出 |
| 使用材料 | 使用材料情報を登録 |
| 品質管理 | 検査位置に品質管理情報を登録 |
| 出来形管理 | 出来形検査情報を登録 |
| 履行報告書 | 履行完了を可視化してボクセルをロックする |
| 工事完成図 | 竣工図の 3D モデルを作成後、ボクセルに変換 |

まずは、検討対象項目が、維持管理段階に寄与すると判断した理由について説明する。

地盤調査や埋設物調査では、空間内の詳細な位置情報や地質・地盤特性の把握が重要である。ボーリング調査では、地質情報が深さによって変わることをボクセルモデルで表現しなければなら

ない。同様に、埋設物調査でも、地中に埋設された構造物や配管の位置を把握し、可視化することで、施工の安全性と効率の向上が期待できる。

起工測量は、工事の進行に先立ち、現場の形状や施工量を正確に把握するために必要なプロセスである。起工測量のデータを用いてボクセルモデルを更新することで、より精度の高い施工計画を策定できる。精度面に関しては、例えば、路体部は層厚 30 cm 毎、路床部は層厚 20cm 毎の盛土品質管理が要求される。また、舗装は基層と表層で約 5cm のコア厚の検測が求められる。他に、要求基準がない空間は、50 cm 程度の精度でも充足する。従って、モジュール別に 5cm~50 cm の範囲で形状表現できればよい。さらに、更新したボクセルモデルにプロジェクト進行管理の要素となる大工程と中工程の工種情報を登録することで、データ管理も容易になるメリットがある。

工事竣工時には、工事完成図を基にボクセルモデルを更新することで、最終的な形状と情報を維持管理に引き渡すことが可能となる。

次に、検討対象項目の対象外とした項目と、その理由を説明する。

近隣家屋調査は、家屋の現状や影響範囲を把握するために実施するが、プライバシー情報の取扱いが発生することから、ボクセルモデルの適用対象から除外した。また、施工計画書は、緻密な空間データより、安全を最優先にした工法選択の妥当性が重視されるため、維持管理段階に寄与する価値は低い情報と判断した。

4. ボクセルモデルの活用の考察

本章では、前章で対象とした要素に対して、ボクセルモデルをどのように生成して、データを入力するか。そして、必要に応じて形状を変更して、その後データを共有するかを論じる。その結果、ボクセルモデルが施工段階のデータ管理と活用にとどのように寄与するかを具体的に示す。

4.1 ボクセルの生成

ボクセルモデルは、施工段階で得られた初期データを基に生成する。この初期生成段階では、以下の手順が重要である。

(1) 設計図データの3DCAD化

最初のステップは、従来の二次元設計図を三次元データに変換する。設計図には、線形や構造物の形状、配置、寸法などが含まれているが、これらを 3DCAD にすることで、高精度に形状を表現する。

(2) 起工測量データの3DCAD化

次に、起工測量データを三次元化する。起工測量では、現場の地形や地盤状態を把握するため、ドローン測量技術等も併用することが多い。取得した点群データ等を処理して

3DCAD化することで、設計図データに不足している情報を付加し、更新する。

(3) ボクセルモデルの変換

3DCADを細かい立方体のボクセルに分割する。ボクセルの大きさや分割数は、建設プロジェクトに求められる精度要件に応じて調整する。例えば、ICTによる出来形管理は10cmグリッドで管理することが標準⁶⁾とされていたり、路体部の盛土は30cm巻き出しで管理されていたり、工種によって管理要件が多様である。ここでは、各精度要件の担保を前提に、できる限り抽象化して取扱いの容易さやデータ量の最小化を図ることが重要である。

(4) 一意のID付与

各ボクセルに一意的空間IDを付与する。開発企業によって仕様・規格が異なると、活用・普及が進まない恐れがあるため、著者らも空間IDの活用に統一することとしている。

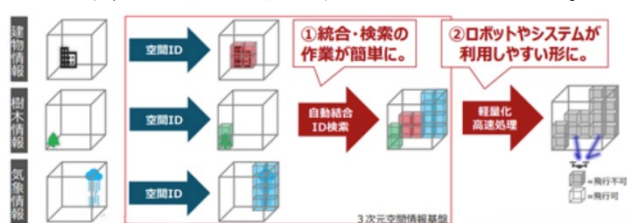


図-2 空間IDの活用概要（引用：経済産業省掲出資料⁵⁾）

4.2 ボクセルへのデータ入力

ボクセルモデルの生成が完了したら、次は各ボクセルに必要なデータを入力していく。このプロセスを経て、単なる形状表現から統合管理できるデジタル環境に進化する。

(1) 地盤・埋設物調査データの入力

ボーリング調査で得られた地質情報を各ボクセルに入力することで、地盤の詳細な状態を三次元空間で管理できる。地盤の深度別に土質や岩質、N値等の情報を格納する。

埋設物調査で得られた配管や構造物の位置や材質に関する情報をボクセルに格納する。これらのデータの格納は、内部構造表現が可能なボクセルモデルなので実現できる。性質別の色分けや断面表示により施工効率化も期待できる。

(2) 大工程・中工程の工種情報の入力

大工程および中工程の工種情報は、プロジェクト管理において重要な識別データである。しかし、ここでは進行管理に着目するのではなく、あくまで施工中に管理して維持管理に引き渡していくことを前提に、品質管理・出来形管理・材料管理に関連する工種のみを抽出すべきである。なぜなら、工種によるモジュール化が実現できると、ボクセルモデル

の再利用につながるため、より幅広いユーザーに適用できる可能性がある。

(3) 使用材料

各工事に使用される材料（鉄筋、コンクリートなど）の属性情報をボクセルに入力する。ここでは、材料の種類、製造日、使用日、製造会社を取り扱うことで、トレーサビリティの確保と予防保全の強化が期待できる。

(4) 品質管理

施工中に実施される様々な試験結果や解析結果が含まれる。例えば、コンクリート圧縮強度試験や平板載荷試験の結果、さらにコンクリート温度応力ひび割れ解析結果と実際の温度測定結果の比較データ等、多岐にわたる。これらの品質管理データをボクセルモデルに統合することで、異常が発生した場合の迅速かつ的確な保全活動につながるため、長期的な品質管理が期待できる。

(5) 出来形管理

出来形管理とは、実際の設計どおりに施工されているかを確認する行為である。従来の出来形管理は、一定数量毎に数カ所の抜取検査を行い、それがどの地点のものか、写真を添付して保存する。これが、ボクセルモデルで実現できるようになれば、検査結果のみをボクセルモデルに格納するだけで、工種情報と位置情報の識別も可能になるため、生産性向上効果もありながら、不具合の早期発見も期待できる。

4.3 ボクセルの形状変更

ボクセルモデルの形状変更は、施工中に設計変更事案が発生した場合を想定する。設計変更が発生する理由は、設計図書に示された条件と異なるためであり、計画どおりに施工を進めることが困難になる。このような場合、発注者と協議を行い、設計変更が必要と判断された場合、正式な指示書を受領する。受け取った指示書に基づき、ボクセルモデルの形状を変更する。

ボクセルの形状変更が完了したら、一意のIDを更新することで、最新の設計に適応したモデルを構築する。

4.4 ボクセルデータの受発注者間共有

ボクセルモデルによるデータ共有は、建設プロジェクトの全体的な効率化と情報の透明性向上に不可欠である。

(1) 多目的利用による利便性の向上

ボクセルモデルは、都市計画、インフラ管理、設計など、多様な目的に利用できる汎用性を持つ。施工段階で作成されたボクセルモデルは、完成後の維持管理や将来の改修計画にも利用可能であり、計画変更に対応しやす

い。また、ボクセルモデルを基に環境やインフラの影響を評価することで、発注者の効率的な維持管理方針に沿った判断も可能となる。

(2) 異種データ統合による一元管理

ボクセルモデルは、異なるデータ形式や異種データを統合し、ひとつのモデル内で管理することが可能である。空間IDを基にしたプロジェクト横断の管理を徹底できれば、プロジェクト別の情報の断片化を防ぐことが期待できる。

(3) 管理の容易さとリアルタイム更新

ボクセルモデルの管理は、従来の3DCADに比べてシンプルであり、各ボクセルに付与された一意のIDから、データの検索や更新、変更が容易である。受発注者間の連携が確立すると、余計な書類の授受が不要であることに加えて、意思決定速度の向上も期待できる。

5. おわりに

本論文では、建設プロセスにおけるボクセルモデルのユースケースを具体的に考察し、その適用可能性を明らかにした。施工段階でのデータ管理から形状変更、データの共有に至るまで、ボクセルモデルがどのように効果的に活用できるかを示した結果、著者らは、ボクセルモデルは建設プロジェクトのデータを高精度かつ一元的に管理できる非常に強力なデジタル環境になり得ると結論づけた。

さらに加えると、ボクセルモデルは、従来の電子納品の仕組みを変える可能性があるだろう。従来の断片的なデータ提出や管理の方式を刷新し、より柔軟かつ効率的な電子納品を実現することで、人口減少の影響を受ける建設業界の先進的なインフラ整備・管理の実現が期待できる。

本論文の考察が今後のボクセルモデルの実用化と、進歩したデジタルツインの構築の一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 国土交通省大臣官房・技術調査課：直轄土木業務・工事におけるBIM/CIM適用に関する実施方針，2024.3
- 2) 国土交通省：国土形成計画（全国計画）閣議決定，pp.2，2023.7
- 3) 国立社会保障・人口問題研究所：日本の将来推計人口令和5年推計，人口問題研究資料，第347号，2023.8
- 4) オムロン社，立石一真ら：未来接近へのSINIC理論、UDC 001.89:65.012.1/2，pp.5-6，1970
- 5) 経済産業省／デジタルアーキテクチャ・デザインセンター：3次元空間情報基盤アーキテクチャ設計報告書，pp.12～14，2022.7
- 6) 国土交通省：3次元計測技術を用いた出来形管理要領（案），pp.13-18～13-20，2024.3