

(31) 土工計画のための地形改変モデルの一提案

椎葉 祐士¹・小林 一郎²・上田 誠³・秋山 慶介⁴

¹正会員 (修)工 (一社)日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 (〒417-0801 静岡県富士市大淵3154) shiiba@cmi.or.jp

²正会員 工博 熊本大学大学院教授 自然科学研究科 (〒860-0862 熊本県熊本市黒髪2丁目39-1) ponts@gpo.kumamoto-u.ac.jp

³正会員 (修)工 熊本大学 工学部技術部 自然科学研究科 (〒860-0862 熊本県熊本市黒髪2丁目39-1) ueda@tech.eng.kumamoto-u.ac.jp

⁴学生会員 熊本大学大学院 自然科学研究科 博士前期過程 (〒860-0862 熊本県熊本市黒髪2丁目39-1) 123d8803@st.kumamoto-u.ac.jp

土工計画立案の支援のため土工の作業プロセスを地形改変モデルとしてモデル構築をおこなった。土工の作業プロセスは掘削、積込、運搬、敷均しで表現し、立方体で表現した地盤モデルへの編集作用をシステム化した。今回は切土、盛土による土量配分や土砂運搬に着目し、積込、運搬のモデルを例に実際の使用状況に沿って記述し操作性の確認をおこなった。また、適用事例として洪水対策としておこなわれるA川における河川の線形変更工事に本モデルを使用する。その際、土工計画の現状と課題を踏まえて実践面から有用性を示したい。

Key Words : cube model, construction planning, geotechnical modified model, river earthwork, CIM

1. はじめに

国土交通省では、施工段階にICTを活用した「情報化施工」による作業効率向上・品質確保の取り組みや建設分野で先進的に取り組みが進められているBIMの概念を、建設分野に適用した「CIM」による建設生産システムのブレイクスルーを目指す取り組みを実施している¹⁾²⁾。このように、施工段階の生産性向上や建設プロセスを通じたICT技術や情報活用に関する取り組みがあるが、施工に必要な土工計画は、2次元図面を利用し、人間が判断して立案する 경우가多く、ICT技術や建設プロセスで取得できる情報が活用されていない。ICT技術や情報を活用した精緻な土工計画を立案することにより、現場条件に合致したより最適な土工計画立案や施工実績情報を利用した土工計画の見直しが可能となることで、無駄のない土工計画が立案できると考える。

本研究は、施工計画に着目し、土工における土工計画立案および施工実績を反映した最適な土工計画の実現を目的とし、地盤を示す立方体地盤モデルと掘削、積込、運搬等土工に必要な建設機械を示す建機モデルを組み合わせた地形改変モデルを提案する。本モデルを実装したシステムを開発し、河川土工への適用事例を示す。

2. 土工計画業務での現状と課題

(1) 現状

土工において土工計画はコストや工期に直接影響する非常に重要な要素である。具体的な土工計画は受注者が行い、土工対象区域内で切土と盛土のバランスを考慮した土量配分や、土砂運搬のための最短距離決定などが検討されるが、一般的に概ね図-1の手順で行われる³⁾。

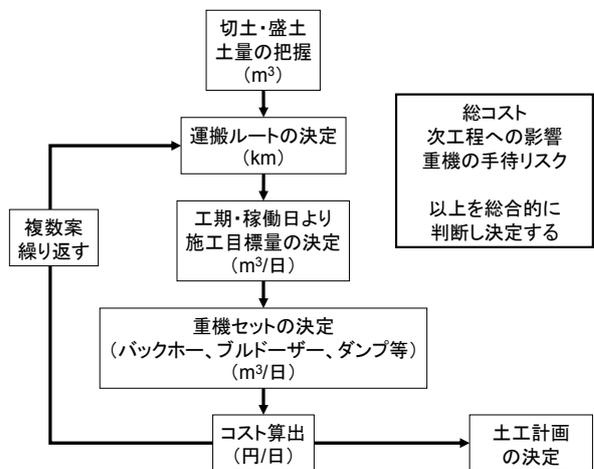


図-1 土工計画のフロー図

(2) 課題

現状における問題点について、段階別に説明する。

a) 計画平面図作成

多くの場合、2次元の現況地盤と計画をひとつの平面図を重ね合わせた図面が提供される。現況地盤と計画からその間の施工途中の形状を想像し計画平面図を作成する。本設の形状を仕上げながら仮設の運搬路等を計画する。そのため、運搬路の適切化、仮設の最小化、本設施工の効率化といった項目を2次元の平面図のなかで検討している。

b) 土量配分

土量は平均断面法やメッシュ法を根拠として算出される場合が多い。しかし、土量計算に用いる高さ情報は文字情報としてのみ与えられ、図面から高さ情報を読み取り表計算ソフト等を使用して行われることから、複数案を検討する際には数値の再入力が発生する。これは多大な労力と時間を要することとなる。

c) 運搬距離決定

土砂運搬経路とその距離の検討結果は、工事全体の進捗を左右するものとなるが、空間的位置関係が重要となるため、2次元図面での検討では労力や時間を要する。実際の運搬路の施工は計画と必ずしも一致しない事が多く、実際のところ効率的であったかの確認ができない。

d) 建設機械選定

工種に応じて建設機械が選ばれ、能力計算や台数の決定が行われる。この際、土質条件、掘削条件（地形）、運搬路条件を考慮して選定されるが、実際に施工を開始した後に計画との差異が発覚し、計画した施工能力が発揮できない場合は再選定を行わなければならないこともある。この場合、機械選定の見直しや代替重機の回送により工期が遅れるなど費用が増加する原因となる。

3. 地形変更モデルによる土工計画立案

2章で述べた土工計画の現状と課題を踏まえて、本研究で対象とする施工計画段階と施工段階の各段階における土工計画立案の課題認識と解決のための留意点を述べる。

(1) 施工計画段階における土工計画

従来における施工計画段階の問題は、前節a)～d)で述べた業務の中で、空間把握の難しさや立案する資料の作成・変更の複雑さが主要な要因の一つであり、土工計画の検討材料である2次元図面と数値データを利用し、人間が判断しながら土工計画を立案することから、複数案の検討や容易な土工計画の修正が難しい。さらには、イメージを可視化できないといったことが考えられる。この

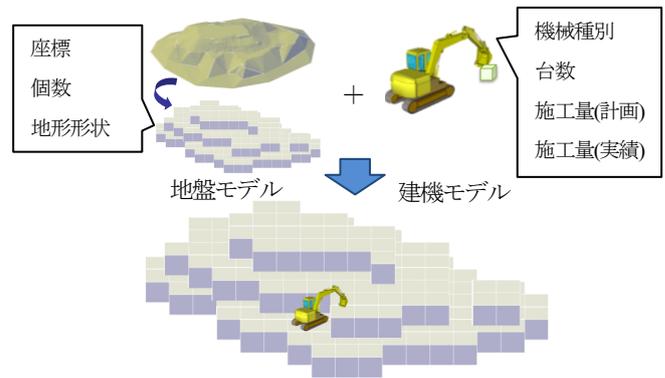


図-2 地形変更モデルの概念図

問題を解決するためには、施工対象である地盤の形状や属性情報、さらには使用する建設機械の情報を活用し、3次的に把握し検討することが重要と考える。

(2) 施工段階における土工計画への施工実績の反映

通常の建設工事では、天候の影響や地質が計画と異なる等、様々な不確定要因が想定され、ある程度、余裕を持った土工計画を立案する場合が多い。しかし、余裕を持った当初の土工計画どおりに施工を実施することによって、ロスが生じることとなる。そのため、日々の施工実績を把握し、適切な土工計画に見直していくことができれば、無駄のない最適な土工計画が立案できる。そのため、実際の日当たり施工量や運搬の台数等の施工実績をフィードバックできる土工計画立案が重要と考える。また、当初の土工計画立案に施工実績をフィードバックして活用するためには、日々の施工実績の情報管理やフィードバックした土工計画情報を関係者間で共有する必要があるが、3次元情報を可視化可能な情報共有システムを活用した情報の一元管理や可視化が重要と考える。

そこで、本研究では、土工計画立案支援のため土工事の作業プロセス全体のモデル構築とその利用について提案し、モデル構築のために建設機械のモデル化をおこなう。また、これまで様々な利用を行ってきた地盤モデルを基盤とし、建設機械モデルと相互作用させ、地盤と建機を考慮した施工シミュレーションを行い、土工計画立案を支援するシステムを構築する。

4. 運搬、積込を反映した地形変更モデル

(1) 地形変更モデルの概要

地形変更モデルの概念図を図-2に示す。本モデルは、地形及び地盤情報を保持する地盤モデルと、建設機械による作業を表現する建機モデルを同一空間上で扱うものである。地形変更モデルの掘削作業のモデル化は、先行研究⁹⁾にて検証しているため、本研究では、土工計画全

体を実現するために積込、運搬、敷均し、締固め等の表現や施工実績情報を反映できる地形改変モデルを提案する。

(2) 地形改変モデルの構成要素

a) 地盤モデル

地盤モデルとは、地形形状を立方体の集合で表現したものである。各立方体は座標値 (x, y, z) を持ち、固有のIDが割り振られている。また、立方体は辺の長さを任意で決定できるので様々な形状にあった地形を再現できる。地盤モデルは、3次元測量データを用いた地形面サーフェスデータを基に作成するので、地盤モデルで大まかな地形形状を視覚的に把握することができる。

b) 建機モデル

本研究における建機モデルとは、機械土工での建設機械の能力と作業を表現するものである。基本機能としては、地盤モデルが保持する属性の編集や、新たな属性を付加することにより、地盤モデルの表示・非表示を切り替えることで各作業を表現する。

図-3 に一般的な機械土工における作業の流れを示す。本研究では、機械土工の作業で扱う建機としてバックホウ、ダンプトラック、ブルドーザ、締固め機械を対象に建機モデルを提案する。ここでは、建機モデルの一例として、図-4、図-5 に示すバックホウおよびダンプトラックの建機モデルの概念を述べる。

①バックホウ

掘削・積込作業を再現する。この際、掘削作業と積込作業は一对で行われるものとし、一つの作業としてあらわすこととする。再現方法を図-4 に沿って述べる。まず、対象の地盤モデルから掘削範囲を指定する。この範囲指定の際には、パラメータであるアーム長により上限等が決まる。指定した掘削範囲に存在する立方体に「積込済」属性を付与する。この「積込済」属性のみを保持する立方体は非表示にするものとする。「積込済」属性により非表示になっている立方体は、ダンプトラックに積み込まれている状態を意味する。

また、地山を掘削してほぐした状態の土量は元の地山土量より多くなる。そのため、地盤モデルの初期属性に「土量変化率」を付加しておき、初期値を「1」、掘削後の値を「L」とする。つまり、掘削作業後のほぐした状態の土量は、初期の土量に L を乗じて算出することができる。この土量は、ダンプトラックによる運搬作業や積算時の指標となる。

②ダンプトラック

運搬・残土処理作業を再現する。再現方法を図-5 に沿って述べる。まず運搬作業の場合、①で述べた「積込済」属性を「運搬済」属性へ変更する。その際、属性を変更した立方体を再表示する。再表示する場合には、搬

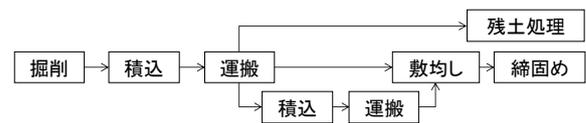


図-3 機械土工の作業

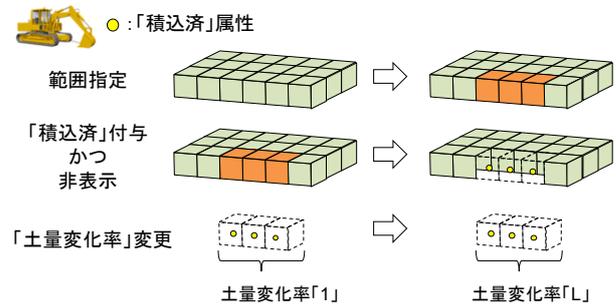


図-4 バックホウの作業再現方法

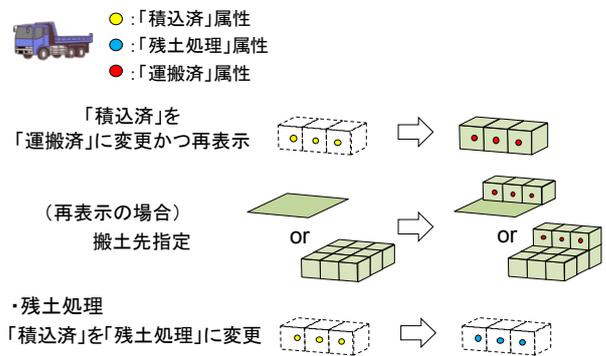


図-5 ダンプトラックの作業再現方法

土先を指定する必要がある。搬土先として指定可能な対象は、立方体の地盤モデルもしくは面データ等が考えられる。この「運搬済」属性を保持し、再表示した状態の立方体は、運搬され山積みになっている状態の土を表す。

また、残土処理作業の場合には「残土処理済」属性に変更し、立方体の再表示は行わず非表示のままにしておく。この「残土処理済」属性を保持する立方体は、以降の作業において関与できないものとする。これにより、場外搬出した土を再現する。

ダンプトラックの作業能力は、パラメータである積載質量や積載土量と、作業対象の立方体の体積や個数、土量変化率などを考慮し制限するものとする。

(3) 地形改変モデルを実装した土工計画システム

上記で、提案した地形改変モデルを実装したシステムを図-6 に示す。ここでは、ダンプトラックを表現した地形改変モデルを事例に説明する。

①座標値

立方体の座標値 (x, y, z) を保持できるので、運搬の前後での位置の確認が容易にできる。世界測地系に座標を合わせることで、他の図面にも反映できる。

②運搬経路

座標値でも示したように土砂を運搬する前後の座標値

より距離を算出できる。また、ダンプの運搬毎に経路の選択も可能にしている。詳細に経路を把握する場合は外部地図をとりこみ経路をなぞることで詳細な経路を検討することができる。

③積載量

ダンプトラックは2tから10tまでが一般道を走行する。したがってそれぞれの積載量を積載容量で示す計算から容量を決定する。立方体に運搬順序が掘削シミュレーションと同時に付加されるのでそれに従い選択したダンプの積載量毎に運搬を操作できる。

④運搬日数

国土交通省の土木工事積算基準より運搬機種と運搬距離によって100m³あたりの日数が決定する。ここから何時間で運搬が可能か示す。

⑤台数

台数を変更することで運搬日数に影響を与える。複数台で異なる積載量の機種の選定を検討できる。

5. 適用事例

地形改変モデルの適用事例として図-7に示すA川の線形変更工事を想定し適用する。現況を立方体の地盤モデルで表したものを図-8に示す。事例として示す工事は全体で300から500万m³におよぶ造成工事であり、盛土に必要な材料は、地点A、Bの2箇所から調達する計画となっている。地点Aは造成工事の場内であり、地点Bは造成工事から15km以上離れた別工事現場である。そのため、当該工事においては、場内からの搬入と場外からの搬入を調整しながら工事を進めていく必要がある。本適用事例における主な検証内容は以下のとおりである。

- ①掘削、運搬、積込といった土工の作業プロセスを通した土工計画立案の適用性確認
- ②施工実績をフィードバックした土工計画立案の適用性確認

6. おわりに

掘削、運搬といった作業プロセスを一貫して表現する地形改変モデルを提案した。各プロセスでの重機の挙動を地盤モデルの編集により示し、施工計画段階での利用を試みる。現場状況の変化の大きい土工において、本モデルを編集することでフィードバックを重ね現場に対応できると考える。A川の治水工事に本モデルを使用して有用性を確かめたい。

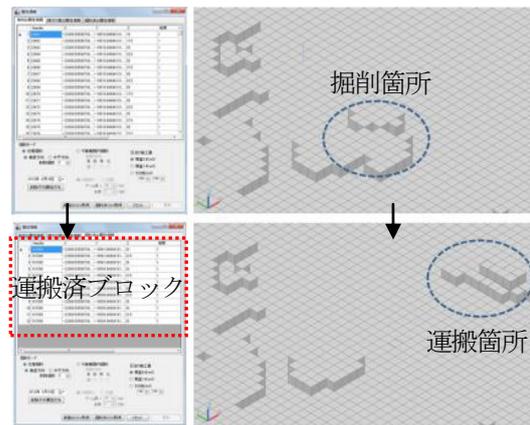


図-6 インターフェイスとモデルの運搬

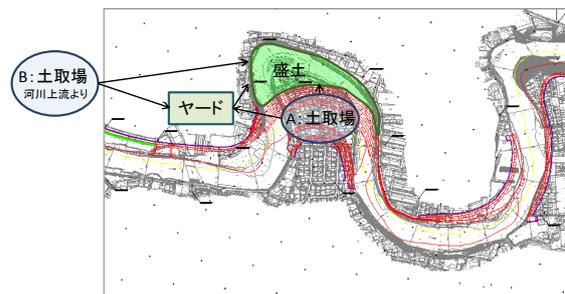


図-7 A川での土工計画の概念図

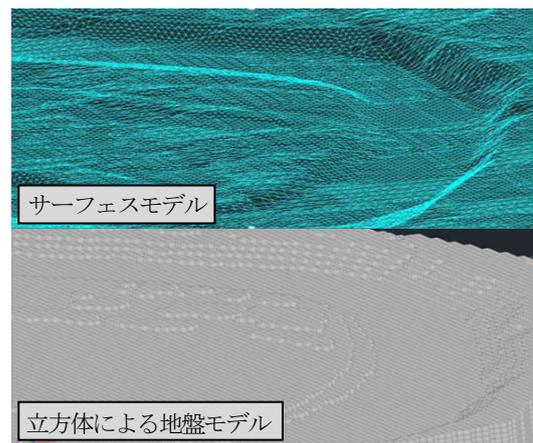


図-8 地盤モデルによる現況表現

参考文献

- 1) 国土交通省 HP：新たな「情報化施工推進戦略」の策定について
http://www.mlit.go.jp/report/press/sogo15_hh_000086.htm
 1) (入手 2013. 6. 15)
- 2) 国土交通省 HP：新たな「国土交通省技術基本計画」の策定について
<http://www.mlit.go.jp/common/000232351.pdf> (入手 2013. 6. 16)
- 3) 一般財団法人国土技術研究センターHP
<http://www.jice.or.jp/index.html> (入手 2013. 6. 15)
- 4) 椎葉祐士, 秋山慶介, 小林一郎, 上田誠：応急・緊急復旧工事における早期施工計画立案のための地形改変モデル, 土木学会論文集 F3 (土木情報学) Vol68 (2012) No.2, 2013