

1-2 土エブロックモデルを用いた切盛土工事検討のための 簡便な4次元システム

A Convenient 4D System for Investigating Cut and Fill Earth Works Using a Block Model

矢吹信喜¹・有賀貴志²・城古雅典³・吉田善博⁴・小菅生賢⁵

Nobuyoshi Yabuki, Takashi Aruga, Masanori Joko, Yoshihiro Yoshida, Masaru Kosugou

抄録: 本来、切盛土工事の施工計画はいくつもの案を作成して比較して最適なものを選ぶべきだが、3次元土工CADシステムを使いこなせるようになるには訓練が必要である。そこで、本研究では、地表面や切土盛土を立方体と直方体のブロックの集合体として表現できるように定式化し、ブロックのデータを表計算ソフトウェアと無料の3次元コンピュータグラフィクスソフトウェアを使用して、簡便な4次元システムを開発した。さらに、サンプル地形を対象として、土砂と岩の切土および盛土の工事を検討し、本システムが容易に使用できることを確認した。本システムは、現場技術者が通常使い慣れている表計算ソフトウェアと直感的で使い易いCGソフトウェアを利用し、形状がブロックであることから、実際の現場で役立つシステムだと考えられる。

Abstract: By right, many alternatives should be investigated when construction of cut and fill earth works is planned. However, 3D CAD systems are not always available to site engineers and 3D CAD may not be easy to use for them. Therefore, in this research, an “earth works block model,” in which all soil and rock are modeled as cubes and rectangular solids, was developed. Then, a simple 4D system was developed using spreadsheet software, Microsoft Excel and SketchUp, a free 3D computer graphics (CG) software package. Further, the developed system was applied to a sample terrain and cut/fill earth works project and the feasibility and practicality of the system were verified. This system should be effective for construction engineers at sites because MS Excel is very familiar to them and SketchUp is easy to use.

キーワード: ブロックモデル, 切土盛土, 土工, 3次元CAD, 4次元CAD, 施工計画, 3次元CG

Keywords : Block model, cut and fill, earth works, 3D CAD, 4D CAD, construction plan, 3D CG

1. はじめに

道路や土地造成などの土木工事の施工計画では、本来は数多くの代替案を作成し比較の上、最適なものを選択すべきである。しかし、地表面や岩盤面の形状は不規則であるため、紙の図面と手計算では数量計算に多大な時間と労力を要することから、実際には数多くの比較を行うことは稀である。そこで、3次元CADに工程計画による時間軸を加えた4次元CADシステム¹⁾の開発に関する研究が進められている。しかし、土工計算ができる3次元CADは比較的価格が高く、操作方法に慣れるためには相当な努力と時間が必要である。現場の技術者が利用する上で、現在の3次元土工CADは、現況地表面や切土盛土処理後の地形を表現し、操作することは容易ではない。さらに、工程計画ソフトウェアと統合化した土工用4次元CADシステムの研究はされているが²⁾、まだ市販されていない。また、3次元モデルから土工量を計算し可視化する研究³⁾も見られるが、施工過程は考慮されていない。土

工現場の事務所で技術者がもっと簡単に使用できるシステムがあれば、コストダウンや効率化に貢献できると考えられる。そのためには、地盤を直感的にわかりやすく、操作しやすいブロックで表現することが良いと着想した。

そこで本研究では、地表面や切土盛土を立方体と直方体のブロックの集合体として表現し、ブロックのデータを汎用性が高く、安価な表計算ソフトウェアとブロックを容易に移動操作可能な無料の3次元CG（コンピュータグラフィクス）ソフトウェアを使用して、簡便な4次元システムを開発することを目的とした。ブロックで掘削土砂・岩や盛土を表現することにより、現場で迅速にいくつもの代替案を立てて、コストや工程の比較を行えるようになると期待される。地盤をブロック化する研究としては、既に建山、ハザマら⁴⁾が行っているが、汚染土壌を立方体のブロックで表現し、掘削時に管理するものであり、土工量計算と施工計画を対象とするものではない。また、竹本ら⁵⁾は、地盤を立方体ブロックで表現し、土工検討に用いる研究を

1 : 正会員 Ph.D. 大阪大学大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻 教授
(〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1, Tel :06-6877-7660, E-mail : yabuki@see.eng.osaka-u.ac.jp)

2 : 正会員 株式会社コンポート

3 : 正会員 国土基盤モデル研究会

4 : 学生会員 工修 大阪大学大学院工学研究科環境・エネルギー工学専攻 博士後期課程 環境設計情報学領域

5 : 非会員 株式会社 NIPPO コーポレーション

行っているが、本研究は、土工量の計算と施工計画のための4次元システムの開発を目指すものであり、また、立方体だけでなく、土砂と岩盤層の境界や地表付近に直方体を用いている点で異なる。さらに、ブロックの操作を非常に簡単に行うことができる。

2. 土工ブロックモデル

「土工ブロックモデル」とは、切土、盛土工事を対象として、グリッドで区切られた平面図内にある、複雑な形状をした掘削盛土を立方体及び直方体として近似させたモデルである。前提条件として、地表面のグリッド上の標高データは存在するものとする。数値地形グリッドデータとしては、国土交通省国土地理院が提供する数値標高モデル (DEM) ⁶⁾ がよく知られている。これよりもっと詳細なデータ等を求める場合は、等高線が記されている地形図をスキャナで読み取り、自動的にベクトル化するか、画面上でマウスのカーソルでなぞりながら標高ポイントを設定する。次に、グリッド近傍にある標高ポイントから距離の2乗の逆数を重みとして加えた加重平均法等で、グリッド上の標高値が求まる。こうしたプログラムは、既に市販のCADソフトウェアに組み込まれているため、本研究の範囲外とした。

以下、土工ブロックモデルの作成方法について、**図-1**に示すような斜面の切土盛土のサンプルを使って記す。

現況地形 (土砂層、岩層)、土工計画面に、 x 軸、 y 軸に平行な等間隔のグリッドを記す。各グリッド線の x 座標、 y 座標は、それぞれ、 $x_0, x_1, x_2, \dots, x_n$ 及び $y_0, y_1, y_2, \dots, y_m$ (n, m は自然数) である。

断面 $y = y_j$ において、 $x = x_0$ と $x = x_1$ の範囲を Section 1 とし、同様に、 $x = x_1$ と $x = x_2$ の範囲を Section 2 とする。一般化すれば、 $x = x_i$ と $x = x_{i+1}$ の範囲を Section $i+1$ とする。断面を Section で区切ったものを**図-2**に示す。実線で描かれている土砂層の現況面、破線で描かれている土工計画面、及び実線で描かれている岩層の現況面と $x = x_i$ とが交じわる点の標高を各々 $A_{i,j}, B_{i,j}, C_{i,j}$ とし、 $x = x_{i+1}$ と交わる点の標高を各々 $A_{i+1,j}, B_{i+1,j}, C_{i+1,j}$ とする。断面 $y = y_{j+1}$ においても同様に行い、交わる点の標高を $A_{i+1,j+1}, B_{i+1,j+1}, C_{i+1,j+1}$ とする (**図-3**)。

各 A の4点の平均値をとる。その平均標高 $Aa_{i,j}$ は以下の式で計算できる。

$$\frac{A_{i,j} + A_{i+1,j} + A_{i,j+1} + A_{i+1,j+1}}{4} = Aa_{i,j}$$

同様に、各 B の4点の平均値をとる。その平均標高 $Ba_{i,j}$ は以下の式で計算できる。

$$\frac{B_{i,j} + B_{i+1,j} + B_{i,j+1} + B_{i+1,j+1}}{4} = Ba_{i,j}$$

同様に、各 C の4点の平均値をとる。その平均標高 $Ca_{i,j}$ は以下の式で計算できる。

$$\frac{C_{i,j} + C_{i+1,j} + C_{i,j+1} + C_{i+1,j+1}}{4} = Ca_{i,j}$$

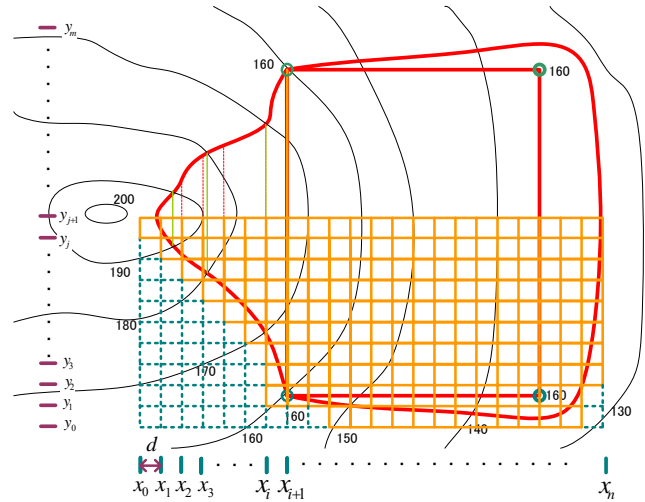


図-1 現況、計画地形グリッド適用図

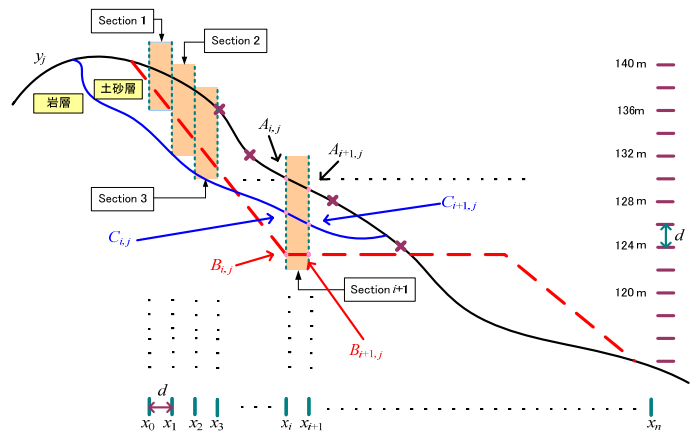


図-2 断面 $y = y_j$ 点標高

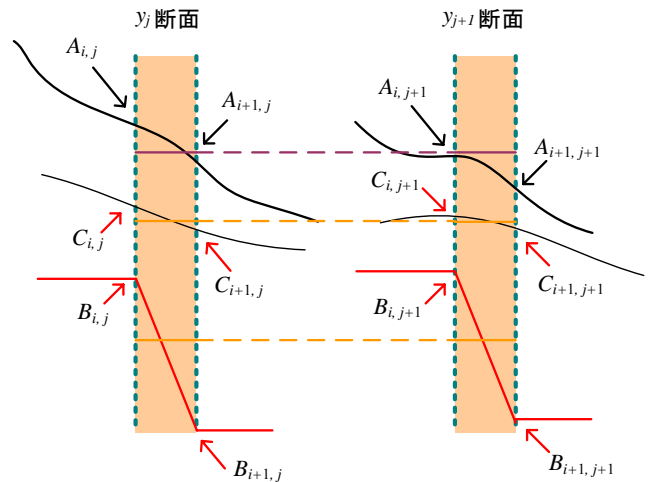


図-3 断面 $y = y_j$ における Section $i+1$ 標高点

断面 $y = y_j, y = y_{j+1}$ で各々平均値をとった $Aa_{i,j}, Ba_{i,j}, Ca_{i,j}$ を **図-4** に示す。

$Ba_{i,j}$ が土砂・岩掘削面であるか、盛土面であるかの判別は $Aa_{i,j}, Ba_{i,j}, Ca_{i,j}$ を比較した際の上下関係で判断する (**図-5**) 。

- ① $Ba_{i,j} > Aa_{i,j} \geq Ca_{i,j}$: 計画面は盛土
- ② $Aa_{i,j} > Ba_{i,j} \geq Ca_{i,j}$: 計画面は土砂掘削
- ③ $Aa_{i,j} > Ca_{i,j} > Ba_{i,j}$: 計画面は土砂・岩掘削
- ④ $Aa_{i,j} = Ca_{i,j} > Ba_{i,j}$: 計画面は岩掘削

次に、地表面と掘削面の高低差の有無について考える。

$Aa_{i,j} = Ba_{i,j} = Ca_{i,j}$ の場合、すなわち、断面 $y = y_j, y = y_{j+1}$, Section $i+1$ の範囲において地表面標高と掘削面標高が同じ (掘削・盛土工事を行わない) 場合はブロックを作成しない。

$Aa_{i,j} \neq Ba_{i,j} \neq Ca_{i,j}$ の場合、すなわち、断面 $y = y_j, y = y_{j+1}$, Section $i+1$ の範囲において、地表面標高と掘削面標高に高低差がある (掘削・盛土工事を行う) 場合、ブロックの作成を行う (**図-6**) 。

図-6 のように Section $i+1$ の領域で① ($Ba_{i,j}$ が $Aa_{i,j}$ よりも低い位置にある) の場合について考える。土工領域の標高よりも低い、任意の基準標高線 L から標高増分高さ $d (=|x_1 - x_0|)$ を足して $Ba_{i,j}$ の標高の大小の評価をする。以下、(a)~(d)の4ケースについて示す。

(1) ケース(a)

まず、基準標高線 L に d を足していくが、**図-7(a)** に示すように、

$$Ba_{i,j} < L + kd$$

が成り立つ面についてはその標高にブロック面は作成しない。

(2) ケース(b)

$L + kd$ に、さらに d を足した標高と $Ba_{i,j}$ との標高を比較していく。**図-7(b)** に示すように、

$$Ba_{i,j} \geq L + kd$$

という式が成り立った場合、 $Ba_{i,j}$ の標高についてブロック面を作成する。

(3) ケース(c)

$L + kd$ に、さらに d を足していく毎に、標高と $Aa_{i,j}$ 及び $Ba_{i,j}$ の標高を比較していく。**図-7(c)** に示すように、

$$Ba_{i,j} > L + kd > Aa_{i,j}$$

という式が成り立つ標高 $L + kd$ において、その標高でブロック面を作成する。

(4) ケース(d)

$L + kd$ に、さらに d を足していく毎に、標高と $Aa_{i,j}$ の標高を比較していく。**図-7(d)** に示すように、

$$Aa_{i,j} \leq L + kd$$

という式が成り立つ面については、 $Aa_{i,j}$ の標高でブロック面を作成する。

これらを考慮し、断面 $y = y_j, y = y_{j+1}$ における Section $i+1$ において分割前のブロック及び分割後のブロックを **図-8**, **図-9** に示す。また、断面 $y = y_j, y = y_{j+1}$ において全範囲を分割した図を **図-10** に示す。

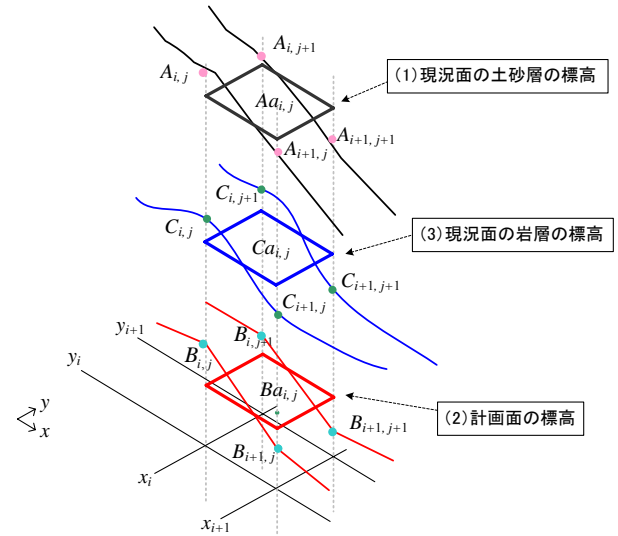


図-4 断面 $y = y_j, y = y_{j+1}$ における Section $i+1$ 3次元平均標高

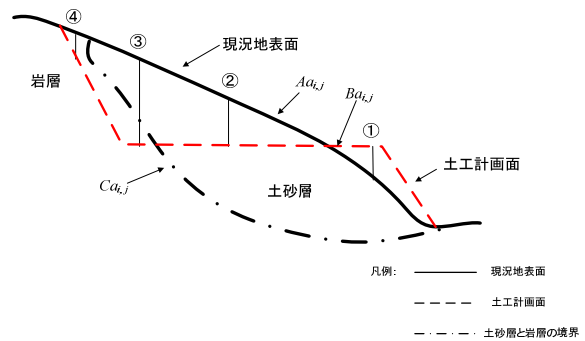


図-5 掘削面判断

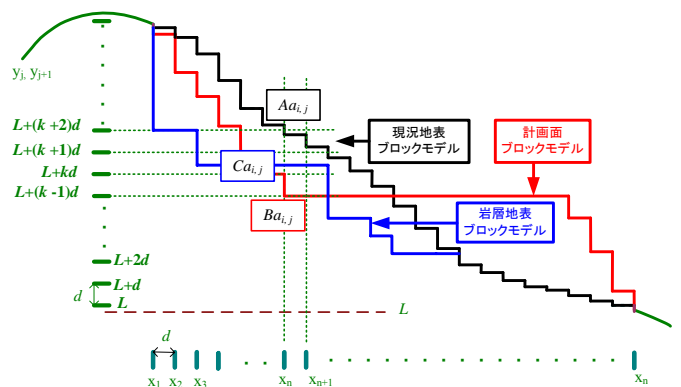


図-6 断面 $y = y_j, y = y_{j+1}$ におけるブロック作成図

作り上げたブロックに ID 番号をつけていくことにより、体積やブロックの高さなどの属性値を加えられるようになり、データ管理等に役立つ。図-11に示すブロック群を用いて、その方法を例示する。標高の高いブロック層から順に番号付ける。Z=5-10mの1番上の層において、y軸が小さい方からx軸に沿って昇順にID番号をつけていく。尚、同じ層であれば、ブロックの高さは関係ない。このルールに従って図-11に示すように①、②、③、④、⑤、⑥とIDをつけていく。

3. 簡便な4次元システムの実装

本研究では、こうした方法で土工ブロックモデルを自動的に作成し、表計算ソフトウェア Microsoft EXCEL に書き出すプログラムを Java 言語を用いて作成した。このプログラムを用いて、図-1に示したサンプルモデルから作成した土工ブロックモデルを EXCEL で表したものの一部を表-1に示す。なおブロックデータは右から ID 番号、段標高、下面標高-上面標高、面標高差、ブロック体積及び、そのブロックが盛土なら1、土砂掘削なら2、岩掘削なら3を表示させることができる。また盛土、掘削体積の合計を一番右に表示させている。

ブロックモデルは、表形式で表示されるだけでは、形状が理解しにくいいため、3次元CGソフトウェア上で、表現できるプログラムを開発した。3次元CGソフトとしては、無料で使用でき、直感的なユーザーインターフェースを有する Google 社の SketchUp を用いた。また、Microsoft EXCEL 形式で描きだされたブロックデータを SketchUp に読み込み、形状画像表示するプログラムを Ruby 言語を用いて開発した。

切土や盛土の工程プロセスの検討は、表計算ソフトで現状の地形ブロックから、切土として、ある部分のブロック群を削除し、盛土として別の場所に加えたり、あるいは削除したままとする。切土盛土の土工量は、表計算ソフトウェアを用いて、容易に計算できる。切土盛土の処理の後の形状は、SketchUp で容易に表示される。形状を確認しながら、次のプロセスを同様な方法で繰り返す。それぞれの工事セクションを一つの工事タスクと考え、ガントチャートを EXCEL で描きながら、施工プロセスの一つの案を作成する。同様な方法で、他の施工プロセス案を複数個、考案し、それぞれの得失を検討して、最適案を選択する。

4. 土工ブロックモデルと3次元CADとの土工量比較

本研究で開発した土工ブロックモデルによる土工量

と一般的によく使用されている3次元土工CADによる土工量とを比較することとした。3次元土工CADとしては、Autodesk社のCivil3Dを使用した。

Civil3Dは、土量の計算法として、複合法を用いている。複合法とはグリッドの代わりに、既存の地盤サーフェスと処理後の地盤サーフェスを構成するポイントに基づき再度三角形分割した新しいサーフェスが使用され、両方のサーフェスのポイントの位置を互いのサーフェスに投影し、各サーフェスは本来の自身が持つポイントと、相手のポイントを合わせたポイント位置

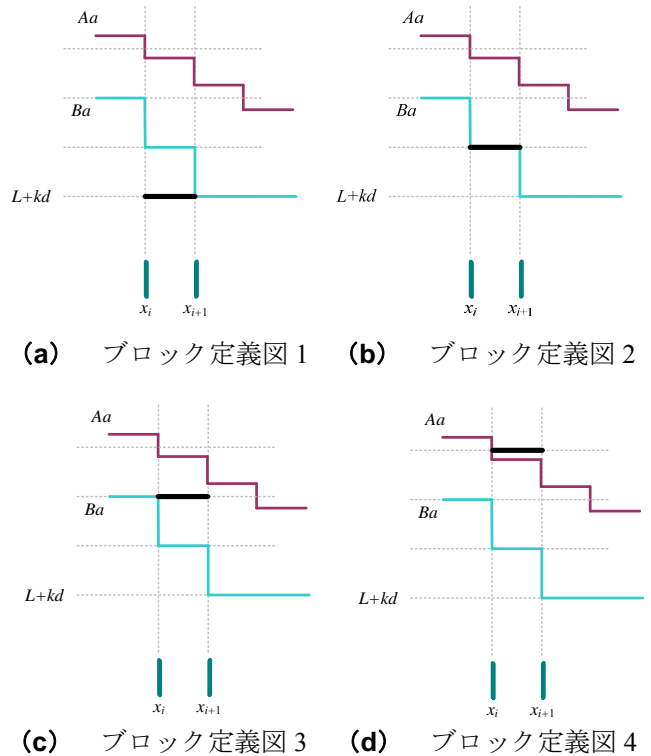


図-7 ブロック定義図

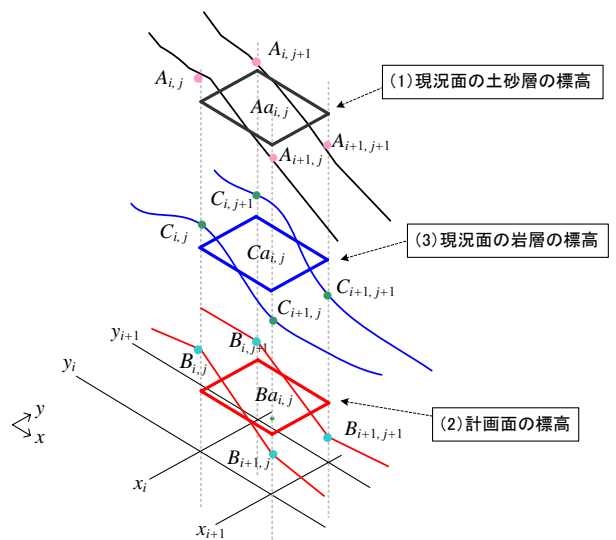


図-8 ブロック分割前

により新たな三角網が形成され、この三角網のノード位置での標高差に基づき複合サーフェスの標高が計算される方法である。

サンプル地形の等高線データ（図-1）を、Civil3Dを用いて入力し、土工計画面を設定して土工量を計算した。次に、本研究で作成した土工ブロックモデル法のプログラムを用いて、グリッド間隔を2mの場合と5mの場合の両方について求めた。両者の比較をそれ

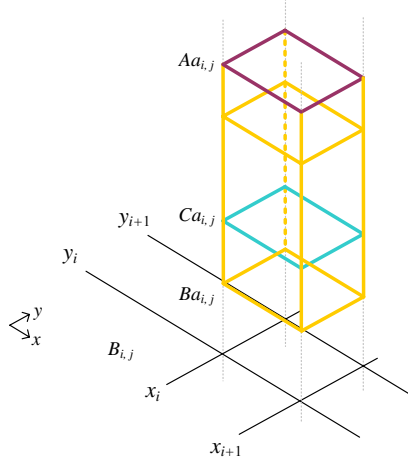


図-9 ブロック分割後

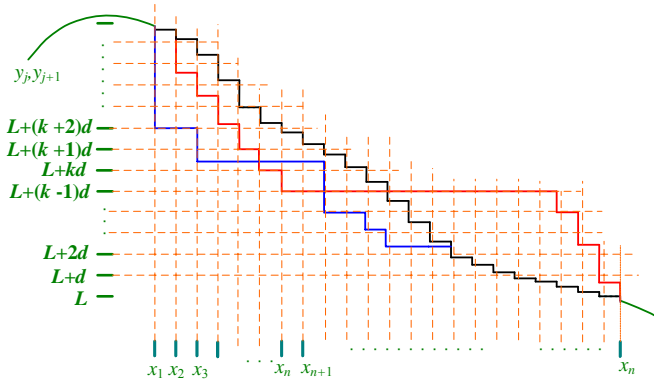


図-10 断面 $y = y_j, y = y_{j+1}$ における全範囲ブロックモデル適用図

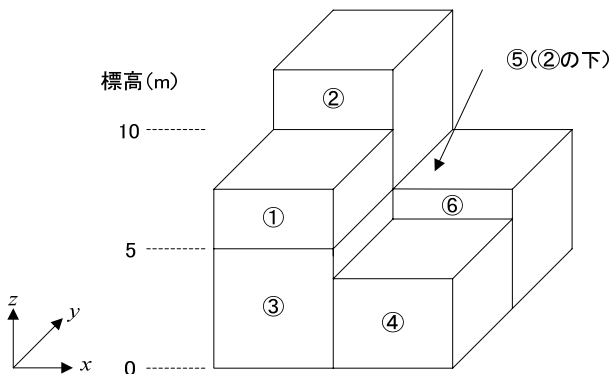


図-11 ID番号付け

表-1 ブロックデータ

ID	段標高	下面標高 - 上面標高	面積高差	ブロック体積	1:盛 2:砂切 3:岩切	切土合計
1	180.0 - 175.0	175.0 - 175.5	0.5	12.5	2	487.5
2	175.0 - 170.0	170.0 - 175.0	5	125	2	
3	175.0 - 170.0	170.0 - 173.0	3	75	2	土砂掘削分
4	170.0 - 165.0	167.5 - 170.0	2.5	62.5	2	487.5
5	170.0 - 165.0	167.5 - 170.0	2.5	62.5	2	
6	170.0 - 165.0	167.5 - 168.25	0.75	18.75	2	岩掘削分
7	165.0 - 160.0	160.0 - 163.25	3.25	81.25	2	0
8	165.0 - 160.0	160.0 - 162.0	2	50	2	
9	160.0 - 155.0	155.0 - 160.0	5	-125	1	盛土合計
10	160.0 - 155.0	155.0 - 160.0	5	-125	1	4568.75
11	160.0 - 155.0	155.0 - 160.0	5	-125	1	
12	160.0 - 155.0	155.0 - 160.0	5	-125	1	ネット
13	160.0 - 155.0	159.0 - 160.0	1	-25	1	4081.25
14	160.0 - 155.0	155.0 - 160.0	5	-125	1	
15	160.0 - 155.0	155.0 - 160.0	5	-125	1	
16	160.0 - 155.0	155.0 - 160.0	5	-125	1	
17	160.0 - 155.0	155.0 - 160.0	5	-125	1	
18	155.0 - 150.0	150.0 - 155.0	5	-125	1	
19	155.0 - 150.0	150.0 - 155.0	5	-125	1	
20	155.0 - 150.0	150.0 - 155.0	5	-125	1	
21	155.0 - 150.0	150.0 - 155.0	5	-125	1	
22	155.0 - 150.0	150.0 - 155.0	5	-125	1	
23	155.0 - 150.0	150.0 - 155.0	5	-125	1	
24	155.0 - 150.0	150.0 - 155.0	5	-125	1	
25	155.0 - 150.0	151.5 - 155.0	3.5	-87.5	1	
26	155.0 - 150.0	150.0 - 155.0	5	-125	1	
27	150.0 - 145.0	147.0 - 150.0	3	-75	1	
28	150.0 - 145.0	145.0 - 150.0	5	-125	1	
29	150.0 - 145.0	147.25 - 150.0	2.75	-68.75	1	
30	150.0 - 145.0	145.0 - 150.0	5	-125	1	
31	150.0 - 145.0	145.0 - 150.0	5	-125	1	
32	150.0 - 145.0	146.25 - 150.0	3.75	-93.75	1	
33	150.0 - 145.0	145.0 - 150.0	5	-125	1	
34	150.0 - 145.0	145.0 - 150.0	5	-125	1	
35	145.0 - 140.0	140.0 - 145.0	5	-125	1	
36	145.0 - 140.0	140.0 - 145.0	5	-125	1	
37	145.0 - 140.0	140.0 - 145.0	5	-125	1	
38	145.0 - 140.0	140.0 - 145.0	5	-125	1	
39	145.0 - 140.0	140.25 - 145.0	4.75	-118.75	1	
40	140.0 - 135.0	135.0 - 140.0	5	-125	1	
41	140.0 - 135.0	135.0 - 140.0	5	-125	1	
42	140.0 - 135.0	135.0 - 140.0	5	-125	1	
43	140.0 - 135.0	135.0 - 140.0	5	-125	1	
44	135.0 - 130.0	132.25 - 135.0	2.75	-68.75	1	
45	135.0 - 130.0	134.0 - 135.0	1	-25	1	
46	135.0 - 130.0	130.0 - 135.0	5	-125	1	
47	135.0 - 130.0	133.25 - 135.0	1.75	-43.75	1	
48	130.0 - 125.0	125.0 - 130.0	5	-125	1	
49	125.0 - 120.0	121.5 - 125.0	3.5	-87.5	1	

表-2 計算結果 (グリッド間隔 2m)

	盛土	土砂掘削	岩掘削
Civil3D (m ³)	26559.77	151368.77	19457.37
プログラム (m ³)	26544.81	151421.33	19386.03
誤差 (m ³)	-14.96	52.56	-71.34
誤差 (%)	0.05	0.03	0.03

表-3 計算結果 (グリッド間隔 5m)

	盛土	土砂掘削	岩掘削
Civil3D (m ³)	26559.77	151368.77	19457.37
プログラム (m ³)	26509.58	151601.54	19078.77
誤差 (m ³)	-50.19	232.77	-378.60
誤差 (%)	0.18	0.15	1.95

ぞれ、表-2、表-3に示す。計算結果・誤差から、グリッド間隔を小さくしてプログラムを実行させた方が、Civil 3Dの計算結果に近く、誤差が小さくなることがわかる。しかし、グリッド間隔を小さくした場合にはデータのサイズが大きくなり、ユーザが表として扱うことに困難を生じる可能性があるため、バランスを考えてグリッド間隔を決定する必要がある。尚、ここで検討したグリッド間隔は、最適なものを求めるためではなく、グリッド間隔の違いにより、この程度の規模の土工事でどの程度の誤差が生じるかを確認することを目的とした。

5. 簡便な4Dシステムを用いた施工計画検討例

本研究で開発した簡便な4Dシステムを用いて、図-1に示したサンプル地形モデルを対象として、施工計画を検討した例を以下に示す。

1日当りの施工量は、掘削積込、運搬、盛土に使用する機械の作業能力のうち最小のもので考える必要があるが、今回は掘削積込機械が最小であるとして、国土交通省土木工事積算基準⁷⁾を参考にし、土砂の1日当りの施工量を、地山の掘削積込バックホウ山積1.4m³(平積1.0m³)、砂質土、障害なしの条件で、500m³/日、岩の1日当りの施工量を、ルーズな状態の積込バック

ホウ山積1.4m³(平積1.0m³)、砂質土、障害なしの条件で、440m³/日とした。また、1ヶ月当りの稼働日は休日や雨天等による作業中止日を考慮して20日とした。工事の進め方は、まず、標高の高い方から5mずつ掘削していき、掘削ズリを最も低い標高から盛土に利用し、盛土に利用し切れないズリは、残土処理工事にまわすこととした。切土工事対象の標高は、350mから290mであるから、段標高を5mとすれば、ステップ数は12となる。盛土は標高275mから290mであるから、4個のステップとなる。各ステップのブロック数および切土・盛土数量は、EXCELの表-1から容易に求められ、表-4のようになった。1日当りの施工量に基づいて作成したガントチャートの工程表を図-12に示す、なお工程表は稼働日ではなく供用日で作成している。EXCELの表で、各ステップで掘削されたブロックを除き、盛土されたブロックを加えて、表示されるべきブロックデータを作成し、SketchUpで表示させれば、各ステップの状態を3次元的に見て確認することができる。いくつかのステップにおける状態を図-13に示す。

将来的には、一般的な4Dシステムと同様に、3Dモデルとガントチャートが連動するようにシステムを改善していく予定である。

表-4 各ステップの切土(土砂, 岩)と盛土の数量

Step	段標高		ブロック数	土量(m3)				段標高		ブロック数	土量(m3)				盛土	切土	残土
	上面	下面		盛土	切土(土砂)	切土(岩)	切土(計)	上面	下面		盛土	切土(土砂)	切土(岩)	切土(計)			
1	350	345	24	0.000	830.714	0.000	830.714	275	270	30	650.019	0.000	0.000	0.000	650.019	830.714	180.695
2	345	340	107	0.000	7,744.392	0.000	7,744.392	280	275	100	5,129.386	0.000	0.076	0.076	5,129.386	7,744.467	2,615.081
3	340	335	140	0.692	12,811.164	0.000	12,811.164	285	280	139	11,300.869	0.000	0.254	0.254	11,301.561	12,811.418	1,509.857
4	335	330	151	0.162	14,532.601	0.000	14,532.601	290	285	116	9,428.000	8.332	9.688	18.020	9,428.163	14,550.621	5,122.459
5	330	325	161	0.081	15,645.830	0.000	15,645.830								0.081	15,645.830	15,645.749
6	325	320	163	0.000	16,422.835	0.000	16,422.835								0.000	16,422.835	16,422.835
7	320	315	168	0.045	17,178.999	0.000	17,178.999								0.045	17,178.999	17,178.954
8	315	310	175	0.045	17,554.959	22.456	17,577.415								0.045	17,577.415	17,577.370
9	310	305	188	0.000	16,294.373	1,249.079	17,543.452								0.000	17,543.452	17,543.452
10	305	300	198	0.000	14,119.782	3,144.603	17,264.385								0.000	17,264.385	17,264.385
11	300	295	196	0.256	11,662.465	5,361.112	17,023.577								0.256	17,023.577	17,023.322
12	295	290	274	0.025	6,797.540	9,291.505	16,089.046								0.025	16,089.046	16,089.021
計			1945	1.306	151,595.653	19,068.756	170,664.409			385	26,508.274	8.332	10.018	18.350	26,509.580	170,682.759	144,173.179

工程表

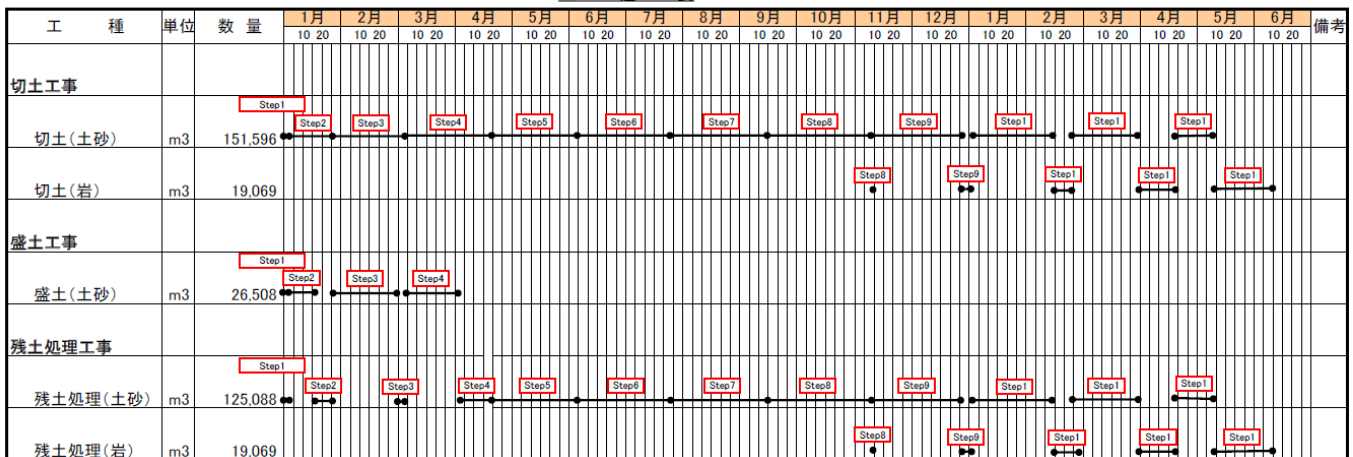
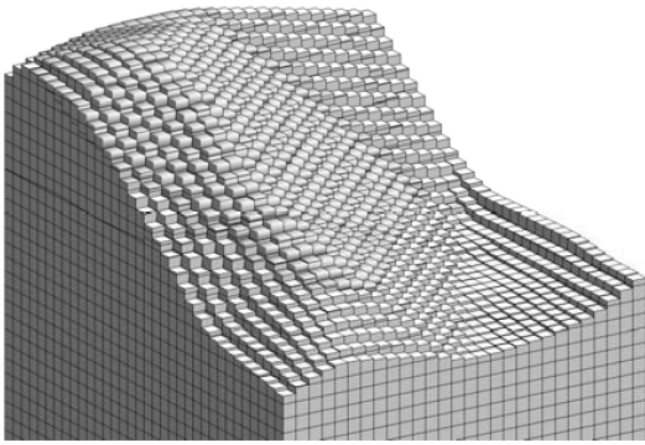
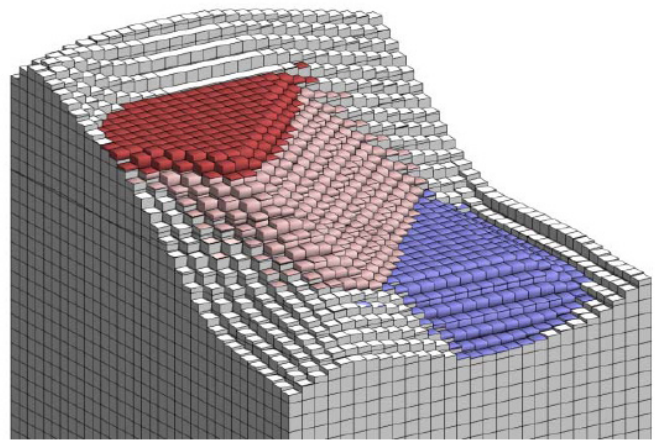


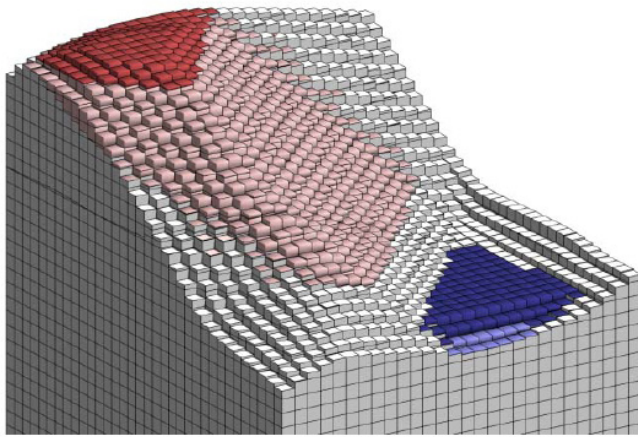
図-12 工程表



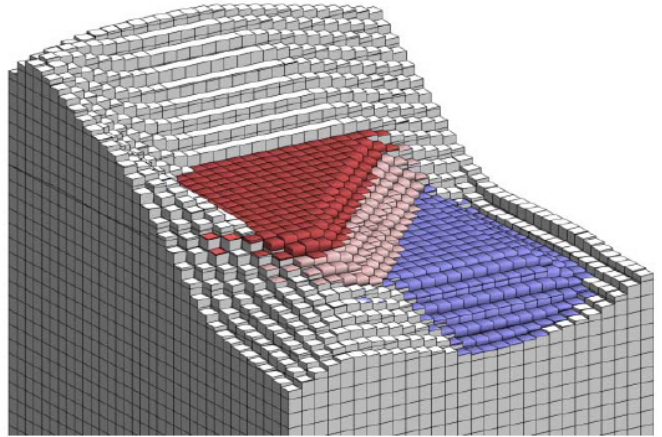
現況



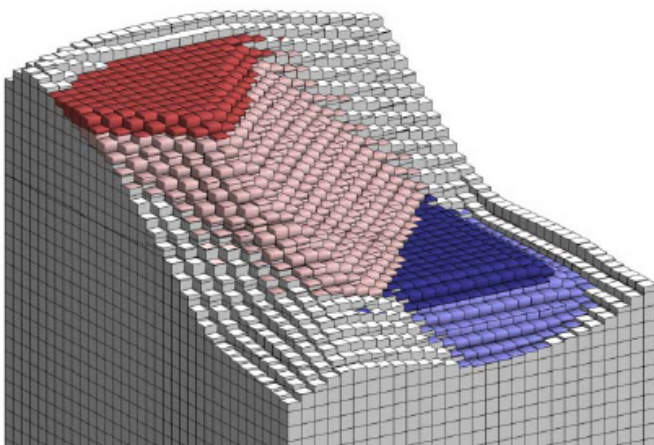
Step 6



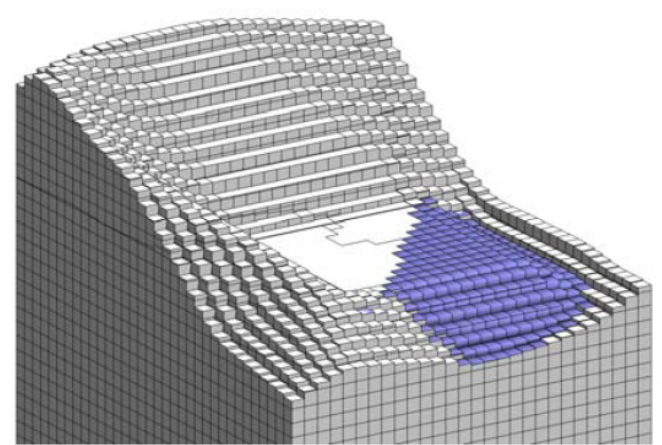
Step 2



Step 10



Step 4



工事完了時

図-13 現況, ステップ 2, 4, 6, 10 および工事完了時の 3次元 CG 図

6. おわりに

本来、切盛土工事の施工計画はいくつもの案を作成し、それらを比較検討した上で、最適なものを選ぶべきだが、3次元土工CADシステムは比較的高価であり、また、使いこなせるようになるには訓練が必要である。そこで、本研究では、地表面や切土盛土を立方体と直方体のブロックの集合体として表現できるよう定式化した。切土は、土砂と岩を区別できるようにした。さらに、ブロックのデータを表計算ソフトウェア EXCEL と無料の3次元コンピュータグラフィクスソフトウェア SketchUp を使用して、簡便な4次元システムを開発した。検証のため、サンプル地形を対象として、土砂と岩の切土および盛土の工事を検討し、本システムが容易に使用できることを確認した。本システムは、現場技術者が通常使い慣れている表計算ソフトウェアと直感的で使い易いCGソフトウェアを利用しており、形状がブロックであることから、実際の現場で役立つシステムだと考えられる。

今後は、工事用の仮設道路を考慮して、ブロックの運搬距離を計算し、積算を行うことが可能な5D CADシステムを土工ブロックモデルを使用して、開発することを計画している。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、前田建設工業株式会社より多大な支援を頂いた。ここに謝意を記す。

参考文献

- 1) Mckinney, K., Kim, J., Fischer, M. et al.: Interactive 4D-CAD, Proc. of the Third Congress on Computing in Civil Engineering, ASCE, pp.383-389, 1996.
- 2) 矢吹信喜, 志谷倫章, 嶋田善多: 4次元CADとEVMSを用いた切土盛土施工管理システムの開発, 建設マネジメント研究論文集, Vol.11, pp.91-98, 2004.
- 3) 福田知弘, 他: 環境デザインを支援する三次元VRシステムでの土量計算機能の開発, 土木情報利用技術論文集, Vol.15, pp.167-172, 2006.
- 4) ハザマ: 3次元GISとGPSを組合せた建設ICTによる「汚染土壌掘削管理システム」, <http://www.hazama.co.jp/pressrelease/2009/090226.html>, 2009.
- 5) 竹本憲充, 小林一郎, 九鬼裕之, 上田誠: 立方体モデルによる3次元地盤データの利活用に関する研究, 土木構造・材料論文集, 第24号, 2008, 12.
- 6) 国土地理院: 数値地図5mメッシュ(標高)について, <http://www.gsi.go.jp/MAP/CD-ROM/dem5m/index.htm>
- 7) 国土交通省土木工事積算基準(平成20年度版), 建設物価調査会, 2008.