

## GIS による切り土・盛り土運搬の最適化

|           |     |         |
|-----------|-----|---------|
| 九州共立大学工学部 | 正会員 | ○ 森 信之  |
| 九州共立大学工学部 | 正会員 | 亀田 伸裕   |
| 九州大学工学部   | 正会員 | 和田 有未   |
| 九州大学工学部   | 非会員 | バク・キョンヒ |
| 九州大学工学部   | 正会員 | 江崎 哲郎   |

## 1. はじめに

用地造成計画では、工事の際の切り土量と盛り土量の収支、斜面の安定性、地質条件、景観、環境への影響、さらには切り土から盛り土への運搬費用等、様々な要因を同時に考慮し適切な設計を行なう必要がある。これらの、空間的に分布する各種データを統合的かつ有効に扱うためには、空間情報データベースである GIS (地理情報システム) を適用するのが妥当である。

現在の GIS は、データベース機能に簡易な統計処理、空間解析機能を組込んだだけのものであり、シミュレーションをするなど高度な処理はできないが、むしろ GIS のできるところを押さえ、そこから先は別のプログラムを使うことで、高度な計算、解析を行なうようにすれば、GIS の活用の幅も広がるであろう。

本研究は、ボタ山における用地造成計画に GIS を適用し、切り土、盛り土の位置と分量を的確に把握した後、別途作成したプログラムで、必要コストをなるべく少なくするような切り土、盛り土の輸送計画を行なう手法について検討する。

## 2. 解析方法

従来の方、例えば土積図を用いて土量配分や輸送コストの算定を行なう手法では、多大な時間と労力を費やすうえに、精度もあまり良くない。土積図では、「断面+高さ」の準 2 次元的手法であるが、GIS を用いると「平面+高さ」の準 3 次元的に把握できることで、より

正確な土量計算と適切な土量配分ができる。

解析は、まず現在の地形図と造成計画図との比較を行ない、切り土、盛り土の位置と量を求める。解析の対象領域は東西 820m×南北 780m であり、5m おきに引かれた等高線地形図を補間して DEM(Digital Elevation Model)を作成する。これにはオランダ ITC 社製ラスタ型 GIS ソフト ILWIS for Windows を用いた。造成前の DEM から造成後の DEM を引いたものが図 1 であり、正の値が切り土部分、負の値が盛り土部分を表わしている。

切り土となるラスタグリッドのセルが  $m$  個 (それぞれの切り土量は  $a_i$ ,  $i=1,2,\dots,m$ )、盛り土となるセルが  $n$  個 (それぞれの盛り土量は  $b_j$ ,  $j=1,2,\dots,n$ ) であったとする。切り土  $i$  から盛り土  $j$  へ運搬する土量を  $s_{ij}$  とし、運搬コストは  $s_{ij}$  に比例するものと仮定する。また、単位土量当りのコストは運搬距離  $d_{ij}$  のみの関数であるものとし、 $f(d_{ij})$  とおく。するとここでの問題は、切り土、盛り土のバランスが取れているものとして、以下のように定式化される。

制約条件:

$$\sum_j s_{ij} = a_i$$

$$\sum_i s_{ij} = b_j / C \quad (C \text{ は締固め土量変化率})$$

目的関数 (運搬コスト):

$$z = \sum_{ij} L s_{ij} f(d_{ij}) \rightarrow \text{最小}$$

( $L$  はゆるみ土量変化率)

$$\text{ここに } d_{ij} = \{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2\}^{1/2}$$

従ってこれは、原理的には線形計画法の運搬問題で解けるものである。しかしながら、計算される土量を正確にするためには、セルサイズを充分小さく取る必要がある。図 2 から、ここではセルサイズは 20m 以下、できれば 5m 以下であることが望ましいといえる。また、造成計画地には傾斜の急なボタ山があるため、セルサイズが大きいと、切り土量を大きく見積もり過ぎてしまう傾向があることが読み取れる。

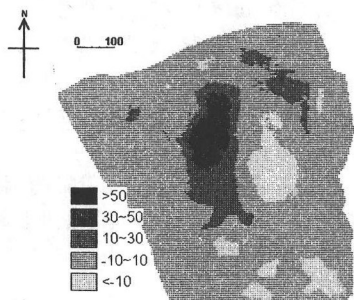


図 1. 切り土・盛り土の空間分布

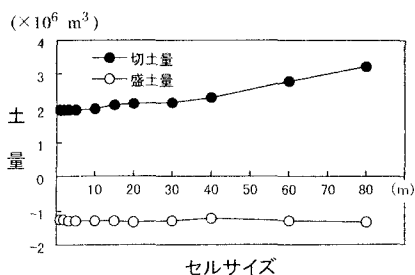


図2. セルサイズと計算された土量の関係

一方、線形計画法輸送問題の通常のアプローチでは、可能な運搬の組合せ  $m \times n$  すべてを考慮する。そのため、セルサイズを小さくするとセル個数が大きくなるとともに、必要とされるプログラム変数のサイズが急速に大きくなる（表 1）。また、計算時間も急激に長くなり、実質的に計算不可能となる。そのため、せいぜいセルサイズ 20m までしか計算することができない。精度的にはぎりぎりであり、解析範囲がもっと広い場合には、別の方法を考えざるを得ない。

表 1: セルサイズとプログラム変数サイズ

| セルサイズ | 切り土セル数  | 盛り土セル数  | 必要変数サイズ |
|-------|---------|---------|---------|
| 80 m  | 41      | 23      | 数kB     |
| 40 m  | 143     | 128     | 数百kB    |
| 20 m  | 520     | 545     | 数MB     |
| 10 m  | 2,104   | 2,185   | 数十MB    |
| 5 m   | 8,287   | 8,940   | 数百MB    |
| 2 m   | 53,212  | 57,198  | 数十GB    |
| 1 m   | 217,899 | 232,192 | 数百GB    |

そこで、一般の場合への適用も視野に入れ、近似解ながら必要メモリを低減し、計算時間も短縮する手法を提案する。基本となる考え方は、線形計画法の輸送問題を、セルサイズを徐々に小さくしながら段階的に繰り返し適用していくというもので、1 段サイズを小さくする際、現在の最適解の基底変数以外の部分を落としていくという近似を行なう。 $m \times n$  の変数のうち、基底変数は  $m+n+1$  個で、それ以外はすべて 0 であるから、計算から外すことで大幅なメモリと計算時間の節約になる。これは、別な言葉で言えば、最適解に寄与しないような単位運搬コスト  $f(d_{ij})$  の大きなところは無視するという近似である。しかし、例えば単に  $f(d_{ij})$  がある値以上のものを無視するという基準よりは、粗いながらも最適化された基底解を参考にすることで、より近似の精度を上げ

つつ大幅な変数の削減を図るものである。

### 3. 結果及び考察

計画地の地質は、ボーリングデータから礫混じりの砂質土であることがわかっているため、ゆるみの土量の変化率を  $L=1.2$ 、締め固めの土量の変化率を  $C=0.9$  として計算を行なった。また、単位土量当りの輸送コストの非線形性は、ここでの解析になんら影響がないので、簡単のため  $f(d_{ij})=d_{ij}$  とした。

結果は、途中の計算段階のとり方によって若干ばらついたものの、おおよそ  $4 \times 10^6$  であることがわかった。

### 4. 結言

(1) 造成計画において、従来の土積図を用いる方法よりも、GIS と新しく提案した多段階式輸送計算法を用いることで、より正確かつ迅速に、適切な切り土、盛り土量の輸送計画が行えることが示された。

(2) 多段階式輸送計算法により、セルサイズの小さなところまで計算でき、充分な精度で土量や運搬コストを計算することができる。

(3) 運搬コストだけでなく、どの切り土部分を、どの盛り土部分に運ばよいかも求めることができる。

(4) 以上より、本研究において、用地造成計画に GIS を適用し、簡便に切り土、盛り土の最適輸送計画を行なう手法が確立されたといえよう。

(5) 今後は更に、以下の点について検討すべきである。

①どのような段階に分けて計算するのが、より正確で、速く計算できるか？ 始めが粗すぎると、誤差が大きくなるであろうし、細かすぎればそこで時間を取られてしまうであろう。より細かく見ていくときも、セルを何分割にしていけるのがもっとも良いか？

②他の近似法との比較。たとえば、Vogel の近似法と比べたらかうか？

③ここでは切り土、盛り土の位置のみ考慮に入れたが、高さまで考慮した解析が必要であろう。

④実際には、切り土部分から盛り土部分へ運搬し、造成していくわけであるが、そのとき、時間とともに地形が変わっていく。ここでの解析は、あくまで静的なものであるから、現実問題と対比するには、地形の時間的な変化まで含めた（従って、作業手順まで考えた）動的シミュレーションが必要であろう。