

## 切盛土量が不確定な場合の大規模土工のシステム化

名古屋工業大学 学生員 ○和田 かおる

名古屋工業大学 正 員 山本 幸司

1. はじめに 古典的輸送問題では需要量、供給量、輸送単価が確定している場合については対応できるが、それらが不確定な場合には対応できない。また条件式、制約式はその一部が非線形となる場合もあり、輸送問題を大規模土工計画に適用するに際しては、当然2種類の土量変化率C、Lの影響や実際の運土費用が運土量よりも輸送回数に影響されることなどを考慮しなければならない。本研究ではこれらのうち需要量、供給量、輸送単価に不確定な要素が含まれる場合について検討を行う。

2. 輸送問題のパターン分類 実際の土工工事では、現場の状況や機械の選定等により、需要量、供給量、輸送単価が運土計画を行う段階で確定できないことも多い。そこで輸送問題の一般形を以下のように定式化しておく（なお各定数に記した～記号は不確定な場合を含むことを示す）。

$$Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \widetilde{C}_{ij} X_{ij} \rightarrow \min$$

$$\sum_{j=1}^m X_{ij} = \widetilde{a}_i$$

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = \widetilde{b}_j \quad \left( \sum_{i=1}^n \widetilde{a}_i = \sum_{j=1}^m \widetilde{b}_j \right) \quad X_{ij} \geq 0$$

表-1 パターン分類

| パターン | 需要量 |     | 供給量 |     | 輸送単価 |     |
|------|-----|-----|-----|-----|------|-----|
|      | 確定  | 不確定 | 確定  | 不確定 | 確定   | 不確定 |
| 1    | ○   |     | ○   |     | ○    |     |
| 2    | ○   |     | ○   |     |      | ○   |
| 3    | ○   |     |     | ○   | ○    |     |
| 4    | ○   |     |     | ○   |      | ○   |
| 5    |     | ○   | ○   |     | ○    |     |
| 6    |     | ○   | ○   |     |      | ○   |
| 7    |     | ○   |     | ○   | ○    |     |
| 8    |     | ○   |     | ○   |      | ○   |

そして本稿では、まず需要量、供給量、輸送単価の確定性によってパターン分類を行い、表-1を得た。

3. 需要量、供給量、輸送単価が不確定要素を含む場合の大規模土工への適用 表-1のパターン1は普通の輸送問題で扱うことができるが、その他のパターンについては需要量、供給量、輸送単価のいずれかに不確定要素が含まれている。このような不確定な問題を扱う理論としては、確率論やファジィ理論があるが、それらがどのような場合に適用できるかを考える。パターン2では輸送単価すなわち目的関数の係数のみが不確定量であり、これらが確率変数ならば目的関数にそれぞれの期待値を用いることで確定的な線形計画問題として解くこともできる。しかし他に確率的要素が含まれる場合は簡単に解くことができない。一方、ファジィ理論を適用すると、それぞれの係数に対してメンバーシップ関数を決定しなければならないので問題がかなり複雑となってしまう。次に需要量・供給量が不確定である場合にはファジィ理論の適用が可能であり、需要量、供給量、輸送単価をそれぞれ変化したときの目的関数の変化量を分析する場合には、感度分析やパラメトリック計画法の適用も可能である。しかし不確定要因がいくつもある場合にはパラメトリック計画法の適用は困難となる。以上から表-1のパターン4、6、8に対しては輸送問題を適用することが困難であるが、パターン2、3、5、7に対しては何らかの方法で輸送問題の適用が可能であると判断した。

4. 適用事例とその考察 沖合人工島を例にとり大規模

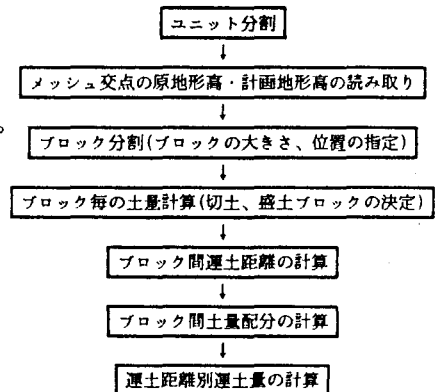


図-1 運土計画の手順

土工に対する運土計画を考える。沖合人工島のような大規模埋立工事では地盤沈下が完全に安定化する前に空港施設の建設工事に着手しなければならないため、計画地形は与えられても原地形の確定が困難である（したがってこのままでは表-1のパターン7となる）。そこで、人工島全体の運土計画を一度に考えるより、いくつかの工区に分割し工区ごとに運土作業を行うことを考える。もし、その工区内で切盛土量がつり合わない場合は次期工区を土捨場、あるいは土取場として扱い、最終工区で切盛バランスを検討すればよい。これによって地盤沈下が進行する影響を工区ごとに段階的に扱えることになり、需要量、供給量は確定量として扱ってもその影響は小さいと判断できる。したがって輸送単価（ただしこの事例では運土機械の選定を目的としたため、輸送単価の代わりに輸送距離を用い、目的関数として仕事量をとった）を確定量とすれば古典的輸送問題を工区ごとに適用すればよいことになる。各工区での運土計画の手順については図-1に示す。今回の事例ではメッシュの分割を10m×10mとし（分割された各区画のことを以下ユニットと呼ぶ）

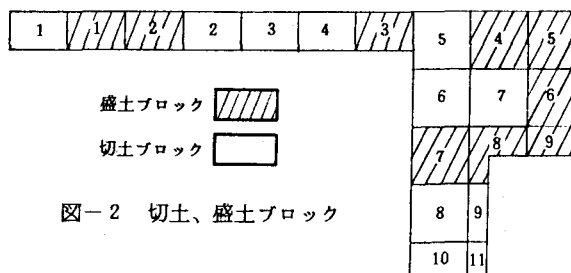


図-2 切土、盛土ブロック

、ブロックは10×10のユニットの集合、すなわち100m×100mの大きさとした。図-2は対象工区の左上隅を基準にして縦横100mのブロックに分割したもので、図-3は図-2を横方向に50m移動したものである。また表-2、表-3はそれぞれの場合の運土計画を示したものである。これを見るとブロック分割のメッシュ位置を変化させると総切土量、総盛土量すなわち運土量が3%程度減少することがわかる。これはブロックを構成するユニットが変化したためブロック内の切盛土量のバランスが良くなったことを示している。しかし運土量の減少とは反対に目的関数の値は増加している。これはブロック分割のメッシュ位置の変化によりブロックが増加し、輸送ルートも増加したためと思われる。参考のため左上隅から50m×50mのブロックで分割した場合の総切土量、総盛土量を示すとそれぞれ30006.5m<sup>3</sup>、288873.2m<sup>3</sup>となる。

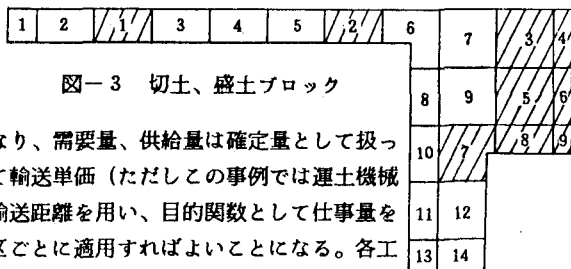


図-3 切土、盛土ブロック

5. おわりに 不確定要素を含む場合の事例については、紙面の都合上講演時に示す。なお今後の課題として、他のパターンについても確率的計画法、パラメトリック計画法、およびファジィ理論を用いてアプローチすることを考えている。

【参考文献】 山本幸司、紅林章央：都市土木工事の残土輸送計画に関するシステムズアプローチ、土木学会第40回年次学術講演会講演概要集、PP179～180、1985

表-2 図-2の運土計画

|       |         |        |            |
|-------|---------|--------|------------|
| 切1→盛1 | 355.25  | 切9→盛8  | 21.50      |
| 2→2   | 128.25  | 10→5   | 194.00     |
| 2→3   | 738.75  | 10→6   | 1847.85    |
| 3→3   | 932.25  | 10→8   | 997.15     |
| 4→3   | 42.50   | 10→9   | 3621.24    |
| 5→3   | 465.25  | 11→8   | 1781.00    |
| 5→4   | 2755.00 | 1→土捨場  | 498.75     |
| 6→4   | 238.75  | 10→土捨場 | 634.51     |
| 6→5   | 6427.25 |        |            |
| 7→5   | 1331.50 | 総切土量   | 26614.75   |
| 8→6   | 3127.75 | 総盛土量   | 25481.49   |
| 8→7   | 476.25  | 目的関数   | 5725794.21 |

単位：土量はm<sup>3</sup>、目的関数はm・m<sup>3</sup>

表-3 図-3の運土計画

|       |         |        |            |
|-------|---------|--------|------------|
| 切2→盛1 | 603.50  | 切12→盛9 | 1220.00    |
| 3→1   | 360.75  | 13→4   | 37.01      |
| 4→2   | 147.25  | 13→7   | 1035.64    |
| 4→3   | 457.49  | 13→8   | 2757.85    |
| 5→2   | 625.25  | 14→6   | 2780.35    |
| 6→3   | 434.00  | 14→7   | 1909.61    |
| 7→3   | 796.25  | 14→9   | 555.29     |
| 8→3   | 3698.50 | 1→土捨場  | 471.00     |
| 9→3   | 1821.76 | 3→土捨場  | 299.50     |
| 9→4   | 2371.24 | 4→土捨場  | 362.76     |
| 10→4  | 581.25  | 総切土量   | 25731.75   |
| 11→4  | 316.25  | 総盛土量   | 24598.49   |
| 11→5  | 2089.25 | 目的関数   | 5850562.40 |

単位：土量はm<sup>3</sup>、目的関数はm・m<sup>3</sup>