

IV-171 建設残土の有効利用のための輸送計画モデル

建設省土木研究所 正会員 見波 潔
 建設省土木研究所 正会員 嶋津晃臣
 建設省土木研究所 下坪賢一

1. はじめに

建設工事から発生する廃棄物のうち、土砂類（以下、残土とよぶ）は量的に非常に多く、処分地の不足、遠隔化が進むにつれて残土処理問題は建設工事遂行上の大きな問題となりつつある。その対策として、残土を他工事の地盤・盛土材料として有効利用することが望まれており、一部の地域では残土の発生・受入れに関する情報を収集・提供することによって有効利用の促進が図られている。しかしながら、残土利用を総合的・計画的に行うという段階には達しておらず、個々の工事ごとに対応がなされているのが現状である。本研究では、建設残土の有効利用問題を複数工事間の土砂輸送計画問題としてとらえ、これに対する線形計画法の適用について検討したので、以下に報告する。

2. 残土輸送計画の考え方

残土を発生する複数の工事（搬出工事とよぶ）から土砂を必要とする複数の工事（搬入工事とよぶ）への残土の効率的な配分問題を考えると、 X_{ij} （時期 t に搬出工事 i から搬入工事 j へ流用する土量）を変数とする線形計画モデル（モデルⅠとよぶ）が適用可能なことを前報¹⁾で示した。このモデルを適用するにあたっては、表-1に示す情報があらかじめ明らかになっていることが前提となっている。しかしながら、実際にはこれらの情報を計画時点において正確に把握することが難しい場合があり、情報に不確実性が伴わざるを得ないことが予想される。このような場合、上述したモデルを適用すると最適解が土量単位で詳細に得られることになるため、各工事の計画変更に対して対応しづらくなる恐れがある。そこで、各工事の施工計画が確定的に与えられない場合には、まず第1段階として最も効率的な搬出工事と搬入工事の組合せを求めておき、次に各工事の施工計画がより明確になった段階で両者間の詳細な土砂輸送計画を立案する、というステップの方が現実的と考えられる。本研究で検討した残土輸送計画モデルは、このような考え方に基づいて搬出工事と搬入工事の最適組合せを求めようとするものである。

表-1 残土輸送計画に必要な情報

対 象	情 報 項 目
搬出工事	・ 工事場所 ・ 搬出土量 ・ 土質 ・ 搬出開始時期 ・ 土工期間
搬入工事	・ 工事場所 ・ 搬入土量 ・ 要求土質 ・ 搬入開始時期 ・ 土工期間
処 分 地	・ 処分地場所 ・ 捨土処分単価
土 取 場	・ 場所 ・ 土砂購入単価
運搬費用	・ 運搬単価

表-2 残土輸送計画における情報の精度

情報項目	計画時点で得られる情報の特性	不確実性の程度
工事場所	ほとんどの場合、工事場所は確定している。	確定的
土 量	工事内容が確定していれば、土量はほぼ正確に把握されている。	小
土 質	調査が不十分などときには正確な把握が難しいことがある。	小
土工開始時期	事業全体の進捗、気象条件などの外的要因により遅れることがしばしばある。	大
土工期間	天候、関連工事の進捗などの条件により変更されることがある。	中
他の情報	ほぼ正確に把握できる。	確定的

表-2は、首都圏の公共土木工事を対象として年度当初に収集した情報と工事竣工時の実績情報を比較し、事前に収集した情報の不確実性の程度を相対的に評価したものである。この表に示すように、残土輸送計画に必要な各種情報のうち、土工開始時期に関する情報の不確実性が最も大きいと判断された。他の情報については、各工事の事前調査が十分に行われておれば情報の精度は比較的高いと思われる。そこで、後述する残土輸送計画モデルでは土工開始時期に関する情報のみを確率的に扱うことにした。

3. 残土輸送計画モデル

残土輸送計画のモデル化にあたっての前提条件を次のように考えた。

- ① 各工事の土工開始時期を確率的に与えるものとする。

- ② 本モデルは同程度の規模の工事の集合に対して適用するものと考え、当該工事から搬出される残土の流用先は1工事のみとする。大規模工事が含まれる場合には、これを適当な数の工事に分割して考える。
 - ③ 土砂処分調達費（土砂運搬費、捨土処分費、土砂購入費の総和）の期待値 Z の最小化を目的関数とする。
 - ④ 各工事ともそれぞれの土工期間内においては一定の土工量で搬出・搬入が行われるものとする。
 - ⑤ 土質条件を満足する工事のみが流用の対象となる。
 - ⑥ 計画対象期間を T 期に分割して時間項を考慮する。
- 以上の条件のもとで、モデルを次のように定式化した。

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} \cdot \delta_{ij} \rightarrow \text{Min} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\sum_{i=1}^m \delta_{ij} = 1, \quad \sum_{j=1}^n \delta_{ij} = 1, \quad \delta_{ij} = 0 \text{ or } 1 \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 C_{ij} ：搬出工事 i と搬入工事 j との間で流用を行う場合の土砂処分調達費の期待値（土量計算の考え方を図-1に示す）、 δ_{ij} ：搬出工事 i と搬入工事 j との間で流用を行う場合1，そうでない場合0とする変数、である。

4. ケーススタディ

S県における残土の発生・受入れに関する調査資料を用いてケーススタディを行った。調査資料の中から比較的小規模な工事（搬出・搬入土量1万 m^3 以下の工事）を抽出し、搬出工事41件（総搬出土量75,000 m^3 ）、搬入工事33件（総搬入土量85,000 m^3 ）に対して本モデルを適用した。この調査では各工事の土工開始時期については不確定なケースが多かったが、ここではモデルの適用性を検討する目的で、土工開始時期が確定的に与えられる場合（パターン1）と図-2に示すように確率的に与えられる場合（パターン2，3，4）を設定し、さらに比較のために上述したモデルIによる計算を行った。計算結果を図-3に示す。本モデルでは、工事単位で残土の流用先を決定するため、モデルIに比べて流用土量は少なく、土砂処分調達費も高くなっているものの、所期の目的にかなう結果が得られた。なお、本事例では11～12件の組合せが最適解として出力され、組合せ結果は土工開始時期の確率パターンによって若干異なるものであった。このように、確率パターンの与え方は計画上の重要な因子ではあるが、流用土量や費用の期待値にはあまり大きな影響を与えないことが図からわかる。

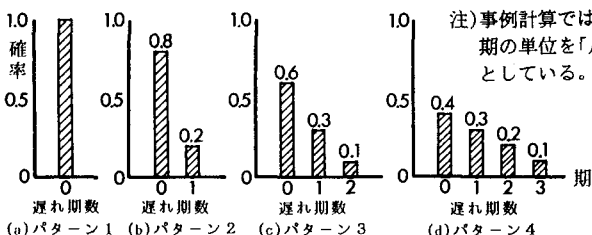


図-2 土工開始時期の遅れの確率パターン

5. おわりに

本研究では、建設残土の輸送計画問題に割当て問題型の線形計画モデルを適用し、最も合理的な搬出・搬入工事の組合せを求めることを提案した。また、本モデルでは各工事の土工開始時期を確率的に扱うことを考え、情報の不確実性に対処できるようにした。今後は、実用化に向けてモデルを改善するとともに、本モデルの適用対象をより明確にしたいと考えている。

【参考文献】1) 見波、嶋津、下坪：建設工事における残土の

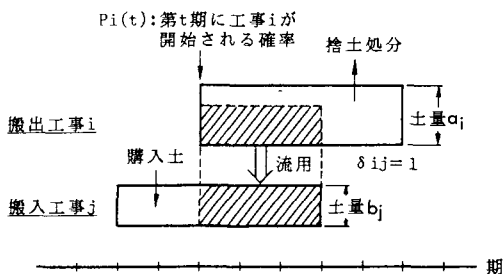


図-1 土砂処分調達の考え方

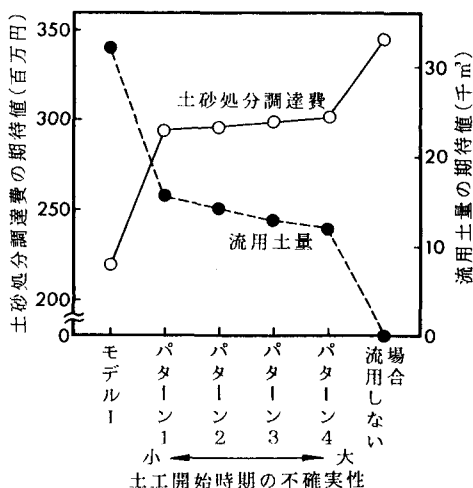


図-3 事例計算結果