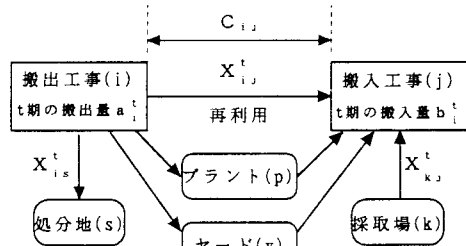


1. はじめに

建設工事のうち土砂の搬出工事では多量の残土が発生し、処分地の不足や運搬距離の長距離化が深刻化な問題となっている。一方で、土砂を必要とする搬入工事においては、採取土の不足や採取土価格の上昇が大きな問題となっている。そこで、このような工事間での土砂の流用（再利用）を促進することは重要であり、また、効率的な残土輸送を行うことは環境負荷軽減のためにも有益である。このための計画手法としていくつかのモデル^{1) 2)}が開発されてきているが、本研究では、工事開始時期を含めた残土輸送計画の最適化を行うところに特徴がある。

2. 残土輸送計画

残土輸送計画とは、図-1に示すような、搬出・搬入工事(i, j), 土砂の採取場(s)・処分場(k)あるいは土砂のストック・プラント(p)などを対象として、各建設工事の開始・終了時期および搬出・搬入量(a_i^t, b_j^t)などを与件として、ある目的関数を最適化するための残土輸送計画（いつ、どこに、どれだけの残土(x_{ij}^t)を輸送すべきか）を立案することである。ただし、ここでは、簡単化のためストックヤードおよび土質改良プラントについては考慮しない。また、採取場・処分場の容量についても建設工事の搬出・搬入量の制約に比べると非常に大きいことから考慮していない。



(注) 図中の記号は図-3と対応している。

図-1 残土輸送計画

3. モデルの考え方及び定式化

3. 1 モデルの考え方

既存の研究^{1) 2)}においては、工事開始・終了時期および残土搬出・搬入量を与件として、目的関数の最適化を行っている。しかしながら、実際の建設工事では、工事開始時期より十分に先立った時点であるならば、工事開始時期の一定限度内での変更は可能であると考えられることから、本研究では、図-2に示すような工事開始時期の変更をも含めた目的関数の最適化を行っている。

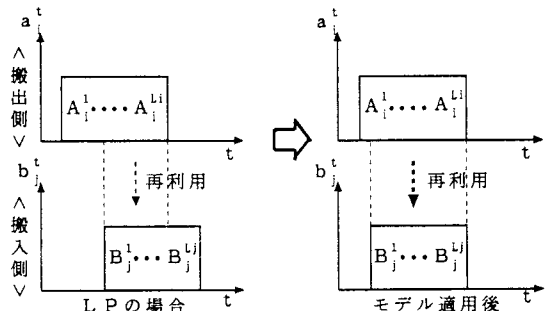


図-2 工事開始時期の最適化

3. 2 モデルの定式化

上記の考え方を定式化したものが図-3であり、0-1型整数混合線形計画問題として定式化されている。目的関数は、環境負荷軽減を目的としていることから、図中の(1)式で示される総輸送エネルギー消費量(Z)の最小化とする。また、制約条件は、(2)式、(3)式で示されるような、各建設工事における搬出・搬入量制約とする。本モデルにおいては、工事開始時期についても最適化を行う必要があることから、さらに(4)式、(6)式に示される搬出・搬入量条件式と(5)式、(7)式で示される搬出・搬入工事開始時期条件式を新たに設定している。(4)式、(5)式は搬出側、(6)式、(7)式は搬入側の条件であり、ともに同様であることから、以下では主に搬出側条件について説明する。

まず、工事開始時期の最適化にあたって、工事開始時期を記述する変数 δ_i を新たに導入する必要がある。この変数は、建設工事iが t_0 期に開始する場合 $\delta_i = 1$ ($t = t_0$) となり、それ以外($t \neq t_0$)の場合 $\delta_i = 0$ となる

0-1型の変数であり、これを表したのが(5)式である。

次に、搬出工事(i)におけるt期の搬出量(a_i^t)を、変数 δ_i^t を用いて定式化すると(4)式となる。図-4はこの説明図であり、工事開始時期が $t=1, \dots, t=T-L_i+1$ (ここで、T:計画対象期間、 L_i :搬出工事(i)の工期)すなわち $\delta_i^1, \dots, \delta_i^{T-L_i+1}=1$ の場合のそれぞれについて、搬出量(a_i^t)を示したものであるが、ここで、実際には各場合のいずれかひとつしか成立しないことに留意すべきである。なお、 $t=T-L_i-1$ までとするのは、各建設工事の工期が計画対象期間内で終了するための条件であり、また、図中の A_i^r は搬出工事(i)が始まってから第r期目の土量を示している。なお、工期の終了後($t-h+1 > L_i$)は、土砂を搬出することがないことから $A_i^{t-h+1}=0$ である。以上の図を用いれば、各期(t)ごとの搬出量(a_i^t)は、各工事開始時期の場合ごとの残土発生量(A_i^r)を縦に合計した値となりこれが(4)式である。なお、式中で δ_i^t を乗じているのは、工事開始時期のうち、実際にはいずれかひとつしか成立しないためである。

4. おわりに

本研究では、工事開始時期の最適化を含む残土の輸送計画モデルを構築した。紙面の都合上、試算結果については割愛したが、工事開始時期の最適化を行わない場合に比べ、本モデルを使用することによって、一層の輸送エネルギー消費量の最小化が可能となった。

今後は工期の最適化についても可能とするモデルに拡張する予定である。

【参考文献】

- 1) 見波潔, 嶋津晃臣: 建設残土の有効利用のための土量配分モデル, 土木学会論文集, 第395号/IV-9, pp65-74, 1988.7
- 2) 和田かおる, 山本幸司: 建設残土の再利用計画に対する輸送問題の適用に関する研究, 土木計画学研究・論文集, NO.11, pp255-262, 1993.12

【目的関数】 $Z = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \frac{\beta}{\alpha \cdot \gamma} C_{ij} X_{ij}^t \rightarrow \min \dots (1)$

【制約条件】 $\sum_j X_{ij}^t = a_i^t \quad (i=1 \dots m, t=1 \dots T) \dots (2)$ (搬出量制約式)

$\sum_i X_{ij}^t = b_j^t \quad (j=1 \dots n, t=1 \dots T) \dots (3)$ (搬入量制約式)

ただし、

$a_i^t = \sum_{h=1}^{t-L_i+1} \delta_i^h A_i^{t-h+1}$ 但し $t-h+1 > L_i$ のとき $A_i^{t-h+1}=0$ $\dots (4)$ (搬出量条件式)

$\delta_i^t = 0 \text{ or } 1, \sum_{t=1}^{T-L_i+1} \delta_i^t = 1 \dots (5)$ (工事開始時期決定式)

$b_j^t = \sum_{h=1}^{t-L_j+1} \delta_j^h B_j^{t-h+1}$ 但し $t-h+1 > L_j$ のとき $B_j^{t-h+1}=0$ $\dots (6)$ (搬入量条件式)

$\delta_j^t = 0 \text{ or } 1, \sum_{t=1}^{T-L_j+1} \delta_j^t = 1 \dots (7)$ (工事開始時期決定式)

Z : 総エネルギー消費量(kcal)
 α : 燃費(km/l) β : 燃料の熱量原単位(kcal/l)
 γ : 1台あたりの積載可能量(t)
 C_{ij} : 搬出工事i、搬入工事j間の距離(km)
 X_{ij}^t : t期における搬出工事iと搬入工事j間の輸送土量(t)
 a_i^t : 搬出工事iの第t期の搬出土量(t)
 b_j^t : 搬入工事jの第t期の搬入土量(t)
m : 搬出工事数 s : 残土処分場数
n : 搬入工事数 k : 山土採取場数
T : 計画対象期間
 δ_i^t : 工事iが第t期目に開始する場合に1、
そうでない場合には0を示す0-1型変数
 L_i : 工事iの工期
 A_i^r : 搬出工事iが始まってからの第r期目の土量 ($1 \leq r \leq L_i$)
 B_j^r : 搬入工事jが始まってからの第r期目の土量 ($1 \leq r \leq L_j$)

図-3 モデルの定式化

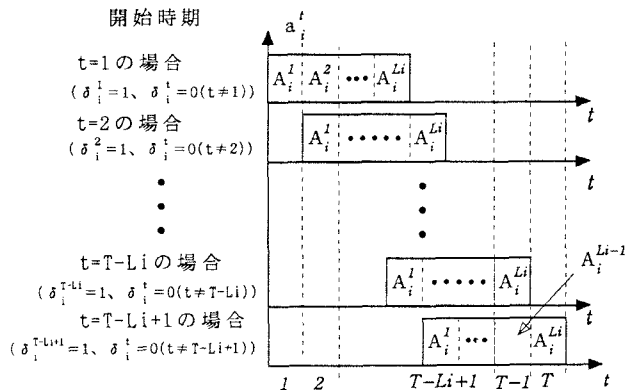


図-4 搬出量条件式(4)式の説明図