

建設残土再利用計画の動的マネジメントに関する基礎的研究

名古屋工業大学 正会員○秀島 栄三 名古屋工業大学 学生員 村井 康介
名古屋工業大学 正会員 山本 幸司 名古屋工業大学 学生員 林口 暢高

1. はじめに

循環型社会の構築に向けて廃棄物リサイクルは重要な課題であるが、一般に供給と需要の時間的・空間的な偏りが不可避であり、普及促進は容易でない。このような問題に対し、和田・山本¹⁾は、建設工事に伴い発生する土砂の再利用の例を取り上げ、線形計画法を適用し、静脈資源の配分問題としてアプローチしている。本研究では、上記研究をふまえ、これに動的計画法²⁾を適用し、多時点間にわたる再生残土配分計画を実施するためのマネジメントシステムを設計し、事例分析をもとにその有効性を検証する。

2. 建設残土再利用プロセスについて

建設現場は土の供給地であり同時に需要地となる。バランスよく現場間で簡単に移動できればよいが、1)空間的に隔たりがあり、輸送費を勘案すると経済的でない場合がある、2)一般的に現場間の連絡はない、3)需給間に時間的ずれが生じうる、4)土種の食い違いが起こりうる、などの障害がある。

そこで 1)について、輸送費、保管費等を含む総費用を最小化する配分計画の認識が必要である。2)については情報管理が重要である。ここでは関係企業で協議会等が形成され、全現場の需給に関する情報が随時かつ一元的に把握されているものとする。3)について本稿では動的計画法を用い、複数時点間の（総量的な）マッチングを図る。併せてストックヤードでの暫時的保管を認める。4)について本稿では土 1、土 2 の 2 種類を考え、1 または 2 の単一種のみ供給する現場、1・2 の混成土を供給する現場、単種土のみ受け入れる現場、混成土を受容する現場があるものとする。単種土のみ受け入れる現場で混成土を受け入れざるをえない場合、選別場で一定のコストをかけて単種土に変換する。またいずれの現場にも受け入れられない土は最終処分場に廃棄される。逆に残土だけでは供給が不足する場合、山土を購入する。さらにストックヤードでの保管には保管量に応じた費用がかかるものとする。なお本稿では残土の品質は十分であり、改良を施す必要はないものとする。

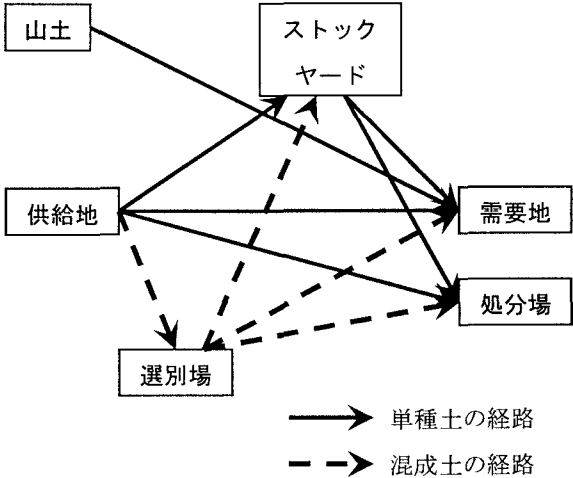


図1 建設残土再利用プロセス

3. 問題の定式化

上述の問題は二部構成で定式化される。第1に各時点の地点間の土輸送量の配分を輸送計画問題として定式化する。第2に保管費と土種選別費を最小化するように多時点間で総費用を最小化する動的計画問題として定式化する。なお山土購入、廃棄処分はできるかぎり行われなように、それらに係る費用パラメータを計算上において操作的に大きくしておくこととする。

まず単種土の輸送計画問題を問題[PS_k (k=1,2:土種)]、混成土の輸送計画問題を問題[PM]とする。それぞれ以下のように定式化できる。

$$\begin{aligned} & \text{[PS}_k\text{]} \quad \sum_{i=1}^{I+S} \sum_{j=1}^J (m_{kij} + c_s) x_{kij} + \sum_{y=1}^Y \sum_{j=1}^J (m_{kyj} + c_{ky}) x_{kyj} + \sum_{i=1}^I \sum_{z=1}^Z (m_{kiz} + c_{kz}) x_{kiz} \text{ to minimize} \quad (1) \\ & \text{s.t. } \sum_{j=1}^J x_{kij} + \sum_{z=1}^Z x_{kiz} = a_{ki} \quad (2), \quad \sum_{i=1}^I x_{kij} + \sum_{y=1}^Y x_{kyj} = b_{kj} \quad (3), \quad \sum_{j=1}^J x_{kjsj} + \sum_{z=1}^Z x_{kksz} + \sum_{s=1}^S x_{kss} = x_{kas} \quad (4), \quad \sum_{i=1}^I x_{kis} + \sum_{s=1}^S x_{kss} = x_{kbs} \quad (5) \end{aligned}$$

ただし添字の i は供給地、 j は需要地を表す。 i, j それぞれにストックヤード s を含む。 y は山土供給場、 z は処分場。 m_{ij}, m_{yj}, m_{iz} は地点間の単位量あたり輸送費、 c_s は単位量あたりストックヤード保管費、 c_y は単位量あたり山土購入費、 c_z は単位量あたり処分費、 x_{ij}, x_{yj}, x_{iz} は土輸送量、 a_i は供給地 i の総供給量、 b_j は需要地 j の総需要量。 x_{kas}, x_{kbs} はそれぞれストックヤードからの輸送量、ストックヤードへの輸送量であるが、それぞれ上限がある。 $(x_{kas} \leq a_{ks}, x_{kbs} \leq b_{ks})$ 変数 x は全て 0 以上、パラメータは全て正值。(以下同様)

$$\begin{aligned}
 \text{[PM]} \quad & \sum_{i=1}^{I+P+S} \sum_{j=1}^{J+P+S} (m_{ij} + c_p + c_s) X_{mij} + \sum_{i=1}^I \sum_{z=1}^Z (m_{miz} + c_{mz}) x_{miz} \text{ to minimize} \\
 \text{s.t.} \quad & \sum_{j=1}^{J+P+S} X_{mij} + \sum_{z=1}^Z x_{miz} = a_{mi} \quad (7), \quad \sum_{i=1}^{I+P+S} X_{mij} + \sum_{y=1}^Y x_{myj} = b_{mj} \quad (8), \quad \sum_{j=1}^{J+P} x_{msj} + \sum_{z=1}^Z x_{msz} + \sum_{s=1}^S x_{mss} = x_{mas} \quad (9), \quad \sum_{i=1}^{I+P} x_{mis} + \sum_{s=1}^S x_{mss} = x_{mbs} \quad (10) \\
 & \sum_{i=1}^I x_{mip} = x_{map} \quad (11), \quad \sum_{j=1}^J x_{mpj} = b_{mbp} \quad (12)
 \end{aligned} \tag{6}$$

ただし c_p は単位量あたり土種選別費である。 $x_{mas}, x_{mbs}, x_{map}, x_{mbp}$ はそれぞれストックヤードから、ストックヤードへ、選別場から、選別場への輸送量であるが、それぞれ上限がある。 $(x_{mas} \leq a_{ms}, x_{mbs} \leq b_{ms}, x_{map} \leq a_{mp}, x_{mbp} \leq b_{mp})$

$[\text{PS}_{k(k=1,2)}]$ と $[\text{PM}]$ を別々にする捉え方もあるが、本稿では同時決定する問題 $[\text{PU}]$ をとりあげる。

$$\begin{aligned}
 \text{[PU]} \quad & \text{PU} = \text{PS}_1 + \text{PS}_2 + \text{PM} \text{ to minimize} \\
 \text{s.t.} \quad & ([\text{PS}_{k(k=1,2)}] \text{ と } [\text{PM}] \text{ に示されたものすべて})
 \end{aligned} \tag{13}$$

次に多時点間の問題として動的計画法(Dynamic Programming)を適用する。まず t 期の問題を $[\text{PU}]^t$ とする。ストックヤードと選別場に前期に運ばれた土量は当該期には各地点の供給量として扱われることに着目し、時点間の関係式を作る。すなわち最適化は各期を通じて行われる。この問題を $[\text{PW}]$ とする。3 期あれば問題の本質が十分に示されるので、ここでは $t=0, 1, 2$ の 3 期にわたる問題の定式化を行う。

$$\text{[PW]} \quad \text{PW} = \text{PU}^0 + \text{PU}^1 + \text{PU}^2 \text{ to minimize} \tag{14}$$

$$\text{s.t. } x_{ap}^t = x_{bp}^{t-1} \quad (t=1, 2) \quad (p=1, 2, \dots, P) \tag{15}$$

$$x_{as}^t = x_{bs}^{t-1} \quad (t=1, 2) \quad (s=1, 2, \dots, S) \tag{16}$$

ただし初期と終期ではストックヤードと選別場に土は存在しないようにする。

$$x_{ap}^0 = 0, x_{as}^0 = 0, x_{bp}^2 = 0, x_{bs}^2 = 0 \tag{17}$$

以上の定式化に基づき、計 3 期の計算では、変数 $x_{bp}^0, x_{bs}^0, x_{bp}^1, x_{bs}^1 (p=1, 2, \dots, P, s=1, 2, \dots, S)$ を操作変数(但し諸々の関係式・要領制約に従う)として全期間の費用最小化が行われ、その下で各期の地点間の土輸送量 (x_{ij} など) が輸送計画問題を解くことにより求められる。

4. おわりに

計算の結果は、供給・需要の分布と諸々の費用パラメータ値に依存する。分析により費用パラメータを変化させた場合の配分結果の相違、また山土購入・廃棄処分をできるかぎり生じさせないための費用パラメータの値などが明らかにされる。各期でパラメータを変化させる(高騰など)場合についての分析も可能である。本稿では、まず問題を説明する必要から、分析と考察は講演時に紹介することとして割愛する。

【参考文献】

1) 和田かおる, 山本幸司: 建設残土再利用計画システムの構築に関する一考察, 建設マネジメント論文集 Vol.4, pp.123-130, 1996. 他、2) 例えば大野勝久, 田村隆善, 伊藤崇博: Excel によるシステム最適化, コロナ社, 2001.