

神戸大学工学部（正） 富田安夫
神戸大学大学院（学）○藤川八潮

1. はじめに

建設工事間での土砂再利用のための土砂輸送計画モデル（工事間土量配分モデル）はいくつか開発されてきている。しかし、いずれのモデルも、土質改良プラントの条件を与件としており、プラントの規模・配置計画モデルとしては適さない。本研究では、富田、寺嶋による工事間土量配分モデルを拡張し、プラントの最適な規模・配置を決定するための機能を追加する。

2. 工事間土量配分モデルの概要

富田・寺嶋の工事間土量配分モデルは、図1に示す土砂輸送パターンを前提として土砂輸送等の総費用を最小化する線形計画モデルである。表1にモデル式を、表2、表3に入出力変数を示す。

目的関数は、表1の(1)式であり輸送費用（ Z_1 ）、ストック費用（ Z_2 ）、土質改良費用（ Z_3 ）、土砂採取費用（ Z_4 ）、土砂処分費用（ Z_5 ）の総和である。

制約条件は、搬出・搬入工事、ストックヤード、土質改良プラントに関する入出土量バランス制約式（(2)～(6)式）と、ストックヤード、土質改良プラント、土砂採場、処分場に関する容量制約式（(7)～(10)式）である。

3. 土質改良プラントの規模・配置決定モデル

(1) モデルの考え方

本モデルは、プラント建設予算および採算性制約を満たすという条件のもとで、プラントの最適な規模および配置を決定するモデルである。（制約条件については次節で定式化する。）

プラントの規模決定のためには、富田・寺嶋モデルで与件とされていたプラント容量（ r_p^{max} ）を

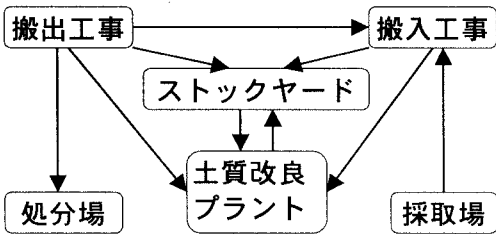


図1 建設工事間の土砂輸送パターン

表1 工事間土量配分モデル

【目的関数】
$Z = Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5 \rightarrow \min \quad \cdots(1)$
$Z_1 = \sum_{i=1}^T \left(\sum_{j=1}^I \sum_{k=1}^K c_{ij} x_{ij}^{t,k} + \sum_{j=1}^I \sum_{y=1}^Y \sum_{k=1}^K c_{iy} x_{iy}^{t,k} + \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^K c_{ip} x_{ip}^{t,k} \right. \\ \left. + \sum_{d=1}^D \sum_{k=1}^K c_{id} x_{id}^{t,k} + \sum_{y=1}^Y \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K c_{yj} x_{yj}^{t,k} + \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^K c_{yp} x_{yp}^{t,k} \right. \\ \left. + \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^{K-1} c_{pj} x_{pj}^{t,k} + \sum_{p=1}^P \sum_{y=1}^Y \sum_{k=1}^{K-1} c_{py} x_{py}^{t,k} + \sum_{s=1}^S \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K c_{sj} x_{sj}^{t,k} \right)$
$Z_2 = \sum_{i=1}^T \sum_{j=1}^I \sum_{k=1}^K c_y q_y^{t,k}, \quad Z_3 = \sum_{i=1}^T \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^K \sum_{k'=1}^K c_p^{t,k' \rightarrow k} r_p^{t,k' \rightarrow k}$
$Z_4 = \sum_{i=1}^T \sum_{s=1}^S \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K c_s x_{sj}^{t,k}, \quad Z_5 = \sum_{i=1}^T \sum_{d=1}^D \sum_{k=1}^K c_d x_{id}^{t,k}$
【制約条件】
$\sum_{j=1}^J x_{ij}^{t,k} + \sum_{y=1}^Y x_{iy}^{t,k} + \sum_{p=1}^P x_{ip}^{t,k} + \sum_{d=1}^D x_{id}^{t,k} = a_i^{t,k} \quad \cdots(2)$
$\sum_{k=1}^K \left(\sum_{j=1}^I x_{ij}^{t,k'} + \sum_{y=1}^Y x_{yj}^{t,k'} + \sum_{p=1}^P x_{pj}^{t,k'} + \sum_{s=1}^S x_{sj}^{t,k'} \right) = b_j^{t,k} \quad \cdots(3)$
$q_y^{t-1,k} + \left(\sum_{i=1}^I x_{iy}^{t,k} + \sum_{p=1}^P x_{py}^{t,k} \right) - \left(\sum_{j=1}^J x_{yj}^{t,k} + \sum_{p=1}^P x_{yp}^{t,k} \right) = q_y^{t,k} \quad \cdots(4)$
$\sum_{i=1}^I x_{ip}^{t,k'} + \sum_{y=1}^Y x_{yp}^{t,k'} = \sum_{k=1}^K r_p^{t,k' \rightarrow k} \quad \cdots(5)$
$\sum_{j=1}^J x_{pj}^{t,k} + \sum_{y=1}^Y x_{py}^{t,k} = \sum_{k'=1}^K r_p^{t,k' \rightarrow k} \quad \cdots(6),$
$\sum_{k=1}^K q_y^{t,k} \leq q_y^{max} \quad \cdots(7)$
$\sum_{k=1}^K \sum_{k'=1}^K r_p^{t,k' \rightarrow k} \leq r_p^{max} \quad \cdots(8)$
$\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K x_{sj}^{t,k} \leq s_s^{max} \quad \cdots(9), \quad \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K x_{id}^{t,k} \leq d_d^{max} \quad \cdots(10)$

表2 入力変数

$a_i^{t,k}$	搬出工事 i 、第 t 期、土質 k の土砂の搬出量 (m^3)
$b_j^{t,k}$	搬入工事 j 、第 t 期、土質 k の土砂の搬入量 (m^3)
$q_y^{t,k}$	ストックヤード y の容量 (m^3)
c_y	ストックヤード y におけるストック価格 (円/ m^3 ・期)
r_p^{max}	土質改良プラント p の容量 (m^3)
$c_p^{k' \rightarrow k}$	土質改良プラント p において、土質 k' から土質 k へ改良する際の改良価格 (円/ m^3)
S_s^{max}	採取場 s の最大採取可能量 (m^3)
c_s	採取場 s における採取土価格 (円/ m^3)
d_d^{max}	処分場 d の最大処分可能量 (m^3)
c_d	処分場 d における処分価格 (円/ m^3)
$c_{\alpha\beta}$	施設 α から施設 β への輸送価格 (円/ m^3) ($\alpha, \beta = i, j, y, p, s, d$)
T, K	シミュレーション期間 土質区分数
I, J	搬出工事数 搬入工事数
Y, P	ストックヤード数 土質改良プラント数
S, D	採取場数 処分場数

表3 出力変数

$x_{\alpha\beta}^{t,k}$	施設 α から施設 β へ第 t 期に輸送される土質 k の土量 (m^3) ($\alpha, \beta = i, j, y, p, s, d$)
$q_y^{t,k}$	ストックヤード y の t 期における土質 k の土砂のストック量 (m^3)
$r_p^{t,k' \rightarrow k}$	土質改良プラント p における t 期に土質 k' から土質 k へ改良する土量 (m^3)

内生変数として扱うことが必要である。

プラント配置決定のためには、モデルを変更する必要はない。モデルの適用にあたって、すべての候補地を列挙しておき、モデル適用の結果、プラント容量がゼロとならなかった候補地への配置が最適配置である。このように候補地を限定して扱うことは、都市内におけるプラント用地の取得可能性を考えれば、現実的である。

(2) 建設予算および採算性制約

建設予算制約とは、プラント建設費の総和が建設予算以下となることである。

$$\sum_{p=1}^P H_p(r_p^{max}) \leq H \quad \dots (11)$$

ここで

$H_p(r_p^{max})$: プラント p (容量 r_p^{max}) の建設費用

H : 建設予算総額

また、採算性制約とは、プラント経営による純収益の現在価値がプラント建設費以上となることであり、これが(12)式である。富田・寺嶋モデルでは、土質改良単価 ($c_p^{k' \rightarrow k}$) を与件としていたが、本モデルでは、内生変数として扱い、採算性を満たすように土質改良単価が決定されるものと考えている。採算性を満たさないプラントは建設不可能であると判断する。

$$\sum_{n=1}^N (\gamma \cdot N / T) \cdot \left(\sum_{t=1}^T \sum_{k'=1}^K \sum_{k=1}^K c_p^{k' \rightarrow k} r_p^{t,k' \rightarrow k} / (1+h)^n \right) \geq H_p(r_p^{max}) \quad \dots (12)$$

ここで

N : プラントの耐用期間

T : シミュレーション期間

γ : 土質改良粗収益に占める純収益比率

h : 割引率

(3) 計算方法

(11)式において、費用関数 $H_p(\cdot)$ が非線形の場合には非線形制約式となる。また、(12)式において、土質改良単価 ($c_p^{k' \rightarrow k}$) と改良土量 ($r_p^{t,k' \rightarrow k}$) がともに変数であることから(12)式は非線形制約式である。そこで、本モデルは非線形計画問題となるが、非線形制約式が(11)式、(12)式に限定されることから、これらの制約式を線形近似にすることより逐次近似計算を行う。

4. おわりに

本モデルによって、プラントの建設予算および採算性制約のもとで、土質改良プラントの規模および配置を最適化することが可能となった。

【参考文献】

富田安夫, 寺嶋大輔: 工事開始時期と工期の調整を考慮した建設残土輸送計画モデル, 土木計画学研究・論文集, No.13, pp331-337, 1996