

神戸大学 正会員 富田安夫
 神戸大学 学生会員 寺嶋大輔
 神戸大学 学生会員 ○畠中 仁

1. はじめに

建設工事の増大に伴って多量の土砂が発生しており、その処分地の不足や遠隔化、これによる運搬費用の増大などの問題が深刻化しており、土砂の流用（再利用）を促進することが求められている。また、土量の再利用にあたっては、通常、土砂の発生量・必要量と輸送費（含む輸送時間）には“あいまいさ”が含まれている。本稿では、あいまいさを考慮に入れた土量配分計画モデルをファジィLPを用いて定式化している。

2. 土量配分計画モデル

2.1 モデルの定式化

本研究では、図-1に示すような搬出・搬入工事(i, j), 土砂の採取地(k), 残土の処分地(s)の存在する地域に対して、工事および輸送費価格、土砂の採取土価格、処分価格を与件として、地域全体の総費用（輸送費、採取土費、処分費）を最小化するための工事間の土量配分を求めることにする。ここで、搬出・搬入土量および輸送価格にあいまいさを考慮すると次式のようなファジィLPとして定式化できる。

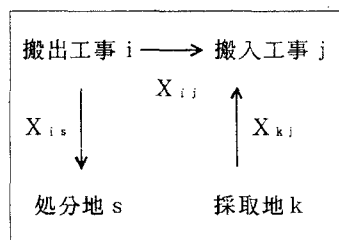


図-1 土量配分計画

$$\text{【目的関数】} \quad \sum_j \sum_i \tilde{C}_{ij} X_{ij} + D_s \sum_i X_{is} + E_k \sum_j X_{kj} \leq Z. \quad \text{---(1)}$$

$$\text{【制約条件】} \quad \sum_j X_{ij} \approx a_i \quad \text{---(2)}, \quad \sum_i X_{ij} \approx b_j \quad \text{---(3)} \quad X_{ij} \geq 0 \quad \text{---(4)}$$

$$(i=1, \dots, m, \quad j=1, \dots, n)$$

ここで、

Z_0 : 総費用の目標値, X_{ij} : 工事ij間の輸送量, X_{is} : 搬出工事iから処分地sへの輸送土量,

X_{kj} : 採取場kから搬入工事jへの輸送土量, C_{ij} : 工事ij間の輸送費用, D_s : 処分価格,

E_k : 採取土価格, a_i : 搬出工事iの土砂発生量, b_j : 搬入工事jの土砂必要量,

m : 搬出工事数, n : 搬入工事数

なお、(1)式のファジィ数 $\tilde{C}_{ij}$ およびファジィ目標($\leq Z$), (2)(3)式のファジィ制約($\approx$)には、それぞれ図-2に示す帰属度関数を用いる。

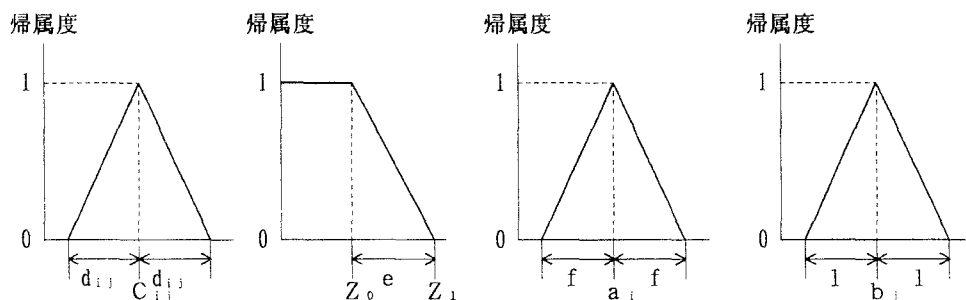


図-2 C_{ij} , Z , a_i , b_j の帰属度関数の設定

2.2 計算方法

ファジィLP問題は、これと同値な数理計画問題に変換することができ²⁾、これを次式に示す。(1)式は(6)式に、(2)式は(7)(8)式に、(3)式は(9)(10)式に対応している。

【目的関数】 $h \rightarrow \max$ --- (5)

【制約条件】 $\sum_i \sum_j C_{ij} X_{ij} + D \cdot \sum_i X_{i1} + E \cdot \sum_j X_{1j} - (1-h) \sum_i \sum_j d_{ij} X_{ij} \leq Z_0 + (1-h) e$ --- (6)

$\sum_i X_{ij} \leq a_i + (1-h) f$ --- (7), $\sum_i X_{ij} \geq a_i - (1-h) f$ --- (8)

$\sum_j X_{ij} \leq b_j + (1-h) l$ --- (9), $\sum_j X_{ij} \geq b_j - (1-h) l$ --- (10)

ここで、 h : 満足水準 (帰属度) を示す変数、 d_{ij}, e, f, l : 図-1に示す帰属度関数の係数値

この問題は、(6)式の左辺第4項に、変数 h と X_{ij} が含まれていることから非線形問題となっているが、 h の値を仮定すれば、 X_{ij} の線形計画問題に帰着することができ、ソフツレックス法により解 X_{ij} の存在の有無を確認することにより、仮定した h の値の妥当性を判断できる。 h は帰属度関数値であるため取り得る範囲は $[0, 1]$ であることから、2分法により逐次 h の近似値を求めることができる。

3. 適用例

地域設定としては、搬出工事4、搬入工事3および採取地・処分地各1カ所を図-3のように配置する。搬出・搬入土量および各種価格の設定は、表-1に示すとおりである。以上の設定に基づき、帰属度関数の設定による最適値の変化を示したものが表-2である。ファジィ性が高まるにつれて、より高いレベルの最適値が得られていることがわかる。また、いずれの解もLP解(=8,000)より最適化がなされている。

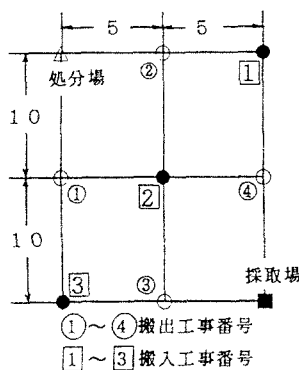


表-1 搬出・搬入工事土量

搬出工事		搬入工事	
1	100	1	100
2	100	2	150
3	150	3	100
4	200		

図-3 地域設定

表-2 帰属度関数の設定による最適値の変化

a. 土量(a_i, b_j)		b. 費用(C_{ij})		c. 目的関数値(Z)	
α (注1)	最適値	β (注1)	最適値	(Z_0, Z_1) (注1)	最適値
0.1	7,633	0.1	7,705	(5500, 7000)	6,378
0.2	7,591	0.2	7,633	(6500, 8000)	7,124
0.3	7,575	0.3	7,627	(7500, 9000)	7,633

(注1) $\alpha = f/a_i = 1/b_j$, $\beta = d_{ij}/C_{ij}$, (Z_0, Z_1) : 目的関数値の帰属度関数の係数 (図-2参照)

(注2) 計算結果は、基本ケースを $\alpha=0.1$, $\beta=0.2$, $(Z_0, Z_1)=(5500, 7500)$ として

a. b. c. の各場合ごと、それぞれ $\alpha, \beta, (Z_0, Z_1)$ を変化させた時の結果である。

4. おわりに

本研究では、土量配分計画モデルをファジィLPによって定式化し、適用例を通してファジィLPの最適解の特性について検討を行った。その結果、ファジィLPはLPよりも高い最適化がなされること、また、ファジィ性が高まるにつれて、より最適化が進むことが明らかとなった。

(参考文献)

- 1) 和田かおる, 山本幸司: 切盛土量にあいまいさを含む土工計画へのファジィ理論の適用, 土木計画学論文集, pp189-196, 1991
- 2) 日本ファジィ学会: ファジィOR, 日刊工業新聞社, pp62-72, 1993