

神戸大学工学部 正会員 ○富田安夫
神戸大学大学院 学生員 徳永大輔

1. はじめに

建設発生土再利用のためのモデルがいくつか開発されている¹⁾²⁾。これらのモデルでは工事情報を確定的としているが、実際には工事情報に不確実性を伴う場合がある。そこで本研究では、工事開始時期・工期及び土量に関する情報の不確実性を考慮した建設発生土の工事間土量配分モデルを提案する。

2. 不確実性を考慮した建設発生土の工事間土量配分モデル

2.1. モデルの考え方

本モデルは、図-1に示すような建設工事間の土砂の運搬・採取・処分に関する費用を最小化するためのモデルである。その際、工事開始時期・工期・土量の不確実性を考慮している。したがって、最小化すべき費用は期待費用として与えられる。

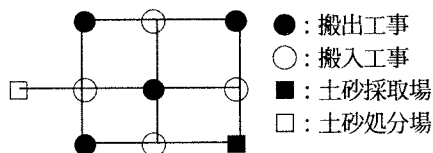


図-1 地域設定

2.2. モデルの前提条件

モデル化にあたっての前提条件は以下のとおりである。

- ① 全期間を通して2つの工事間においてのみ土砂流用を可能とする。
- ② 地域全体の土砂流用費用（輸送費、処分費、採取費）の期待値の最小化を目的関数とする。
- ③ 工事開始時期、工期、土量に関する情報を確率的に与え、その不確実性を考慮するものとする。
- ④ 土質改良プラント、ストックヤードの再利用施設は考えない。

⑤ 計画対象期間をT期に分割する。

⑥ 工事期間内において一定の土量で工事が行われるものとする。

2.3. モデルの定式化

(1) 割り当て問題としてのモデルの定式化

本モデルでは、土砂流用は2工事間でしか認めないので、特定の搬出工事*i*と搬入工事*j*が与えられれば、その土砂流用費用が決定する。図-2において、斜線部分の土量については工事間流用がなされ、その他は採取あるいは処分されることになる。これらの費用の合計がこの2つの工事間での費用 C_{ij} である。この費用は、本モデルでは不確実性を考慮しているので期待費用として与えられる。

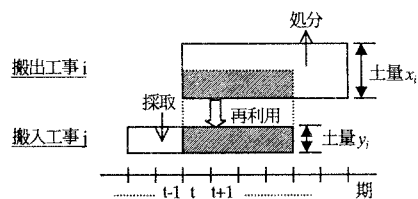


図-2 工事間の土砂流用の考え方

工事間の期待費用 C_{ij} を用いれば、総期待費用を最小化するための工事の最適な組み合わせを求める問題として、次式のようにモデルを定式化できる。この問題は“割り当て問題”である。

$$Z = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J C_{ij} \cdot \delta_{ij} \rightarrow \min \quad \cdots (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{i=1}^I \delta_{ij} = 1, \quad \sum_{j=1}^J \delta_{ij} = 1, \quad \delta_{ij} = 0 \text{ or } 1 \quad \cdots (2)$$

δ_{ij} : 搬出工事*i*と搬入工事*j*との間で流用を行うとき1そうでないとき0とする変数

以下では、まず、不確実性下における工事の発生土量およびその発生確率を定式化した後、図-2の考え方に基づいて、期待費用 C_{ij} を定式化する。

(2) 期ごとの発生土量

ある工事の開始時期を第 s 期, 工期を n 期とする. この工事の開始時期が S 期遅れる可能性があるとし, その遅れる確率を $P_S(S)$ とする. また, 土量の発生量が当初の予定より $V\%$ になる可能性があるものとして, その確率を $P_V(V)$ とする. 当初の予定の工期を n 期とし, この工事の工期が N 期間長くなる可能性があるとし, その確率を $P_N(N)$ とする.

このときの工事に伴う土砂搬出 (搬入) 総量を X とすると 1 期当たりの平均土量 x^{VN} は次式となる.

$$x^{VN} = VX / (n + N) \quad \dots (3)$$

工事開始時期については, 発生土量には影響しないが, 土砂の発生確率に影響を及ぼしており, これについては次節において定式化する.

(3) 期ごとの土砂発生確率

工事開始時期が第 s 期, 工期が $n+N$ 期の工事について, 開始時期が最大 S 期遅れる可能性があるとき, 各期 t の土量が x^{VN} となる確率 $q^t(x^{VN})$ 及び, 土量が 0 となる確率 $q^t(0)$ を求める.

図-3 は開始時期別 (時期の遅れ別) の土量の発生状況を示したものである. 例えば, 第 $s+2$ 期での確率 $q^{s+2}(x^{VN})$ は, その期で工事が行われている (図の網掛け部分) 確率を足し合わせたものであり, $q^{s+2}(x^{VN}) = P_3(0) + P_3(1) + P_3(2)$ となる.

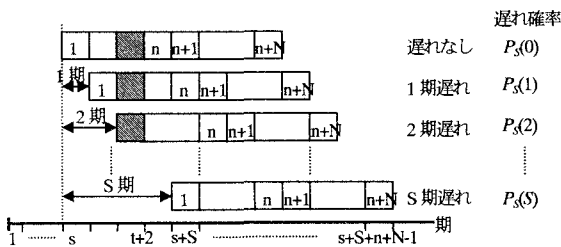


図-3 工事開始の遅れ別の土量発生状況

これを, 一般的に表したのが次式である. 土量 x^{VN} が発生しない確率は (5) 式となる.

$$q^t(x^{VN}) = \sum_{S=t-(s+n+N)+1}^{t-s} P_S(S) \quad \dots (4)$$

$$q^t(0) = 1 - q^t(x^{VN}) \quad \dots (5)$$

(4) 期待費用 C_{ij} の定式化

以上より, すべての工事について, 期ごとの発生土量とその発生確率が, 次のように与えられたことになる. すなわち, 搬出工事 i について t 期の土量が x_i^{VN} , 0 となる確率は $q_i^t(x_i^{VN})$, $q_i^t(0)$, 同様に

搬入工事 j について t 期の土量が y_j^{VN} , 0 となる確率は $q_j^t(y_j^{VN})$, $q_j^t(0)$ である. これらを用いて, 搬出工事 i と搬入工事 j の期待費用 C_{ij} を定式化する.

2 工事間の土砂の流れは, 図-2 (前出) に示したように, ①搬出量 x_i^{VN} 搬入量 y_j^{VN} 間での再利用, ②搬出量 x_i^{VN} 搬入量 0 の結果としてすべて処分, ③搬出量 0 搬入量 y_j^{VN} の結果としてすべて採取, の 3 ケースが考えられる. 「搬出土量 $x_i^{VN} >$ 搬入土量 y_j^{VN} 」の場合 (図-2 の場合) について, これらのケースごとの費用およびその費用の生じる確率を掛け合わせて合計したものが (6) 式である. 式の [] 内の第 1 項はケース①, 第 2 項はケース②, 第 3 項はケース③の費用を表わしている.

なお, 搬出土量「 $x_i^{VN} <$ 搬入土量 y_j^{VN} 」の場合についても同様に定式化できる.

$$C_{ij} = \sum_{t=1}^T \left\{ \left[y_j^{VN} U_{ij} + (x_i^{VN} - y_j^{VN})(U_{id} + D_d) \right] \times q_i^t(x_i^{VN}) q_j^t(y_j^{VN}) + x_i^{VN} (U_{id} + D_d) q_i^t(x_i^{VN}) q_j^t(0) + y_j^{VN} (U_{bj} + B_b) q_i^t(0) q_j^t(y_j^{VN}) \right\} \times P_V(V) P_N(N) \quad \dots (6)$$

ここで, U_{ij} : i, j 間の単位土量あたり輸送価格 (円/ m^3), D_d : 処分場 d における単位土量当たりの土砂の処分価格 (円/ m^3), B_b : 採取場 b における単位土量当たりの土砂の購入価格 (円/ m^3).

3. おわりに

工事情報の不確実性を考慮した建設発生土の工事間土量配分モデルを提案した. 今回は再利用施設を考慮していないが, 施設を用いることによってさらに再利用が促進され期待費用を低化させることができる. 今後は, 再利用施設を考慮したモデルの定式化が必要である.

【参考文献】

- 1) 見波・嶋津: 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, pp. 65-74, 1988. 7.
- 2) 富田・寺嶋: 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, 1996.