

建設残土の再利用計画策定モデル

RECYCLE MODEL OF SURPLUS SOIL PRODUCED BY CONSTRUCTION WORKS

和田かおる*, 山本幸司**
by Kaoru Wada, Koshi Yamamoto

1. はじめに

都市土木工事の需要拡大に伴い、建設残土の発生量も年々増加の一途をたどっており、大きな社会問題の一つとなっている。そこで残土利用の拡大を図るべく工事現場間での残土の相互利用を進めなければならない¹⁾。しかしながら、残土利用の際には必要な品質を確保できること、必要な時期に必要な量を供給できることが不可欠である。これらの条件を満たすためには、残土を要求される土質に改良する再処理施設、残土の利用時期を調節する残土置場を含めて総合的に残土再利用計画を策定する必要がある。そこで本研究では、特に再処理施設が複数の場合についても対応可能となる残土再利用計画モデルを策定する。

2. 複数の再処理施設を設けた残土再利用計画モデル

(1)建設残土の再利用方法

建設残土を埋戻し材として再利用するには上述の通り、品質、時期、量の調整が問題となる。品質については再処理施設で必要な処理を行えばよいが、残土が掘削地→埋戻地のように輸送されるのではなく、掘削地→再処理施設→埋戻地のように輸送されること、さらに、処理により搬出時期と搬入時期にズレが生じることにも留意する必要がある。そこで本研究では、時期と量の調整については図-1に示すように工事計画をいくつかの計画期に分割し、各計画期毎に残土計画を考えて行くことにする。

しかしながら、各計画期で掘削量、埋戻量などが

バランスしないことも考えられるため、次のように対応する。まず、掘削地から直接供給可能な良質土と再処理施設で土質改良された改良土の土量が埋戻量を上回る場合には、これらを一時保管する適性土置場を設ける。一方、1計画期では埋戻量を満たさない埋戻地については、次期計画期以降、優先的に埋戻材を搬入する。さらに、再処理施設に対しては、その処理能力を超える不良土が発生した場合にこれらを一時保管するための不良土置場を設定する。また土質改良に必要な処理時間は1計画期分とする。

図-2はこのような対応に基づく残土の流れを示

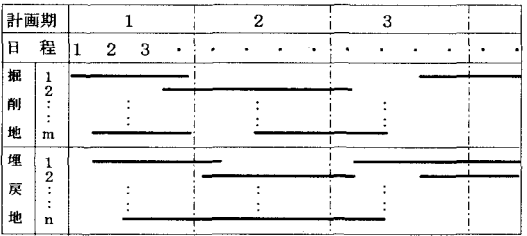
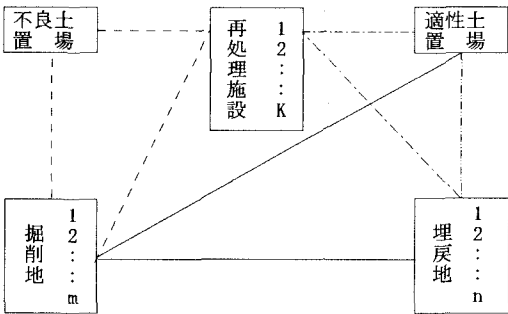


図-1 工事期間の分割



—— : 良質土 - - - - : 改良土
- - - - : 不良土 - - - - : 改良土+良質土

図-2 建設残土の流れ

キーワード：計画手法論、施工計画・管理
* 正員 工修 名古屋工業大学 社会開発工学科
** 正員 工博 名古屋工業大学 社会開発工学科
〒466 名古屋市昭和区御器所町
Tel 052-732-2111, Fax 052-741-8192

したものである。

(2) モデル化の前提条件

残土再利用計画を策定する際には、図-2に示した残土の流れに対し、掘削地から埋戻地へ至るまでの時間のズレを考慮してモデル化を行うことになる。ここで問題となるのが、再処理施設での処理時間であり、特に最終計画期（T期）に掘削地から不良土が搬出されるとT期以降に処理遅れが生じる。このため、モデル化においては、処理遅れを事前に把握する必要があることから、これを次のようにして計算する。ここで、T期における不良土置場への搬入量を R^T 、再処理施設への搬入量を S^T 、再処理施設の処理能力を P 、処理遅れを L とする。

① $S^T = 0$ のとき、 $L = 0$ 。

② $R^T = 0$ 、 $S^T \neq 0$ のとき、 $l = 1$ 。

③ $R^T > 0$ のとき、

$R^T = \alpha \cdot P + \beta$ ($\alpha \geq 0$, $P > \beta \geq 0$) (1)
と表わすと、 $\beta = 0$ のとき、 $l = \alpha + 1$ 。 $\beta \neq 0$ のとき、 $l = \alpha + 2$ 。

さらに図-2からわかるように、再処理施設、不良土置場、適性土置場では残土の搬入、搬出が見られ、これらは供給地と需要地の両方の役割を果たしていることがわかる。したがって、これらを供給地および需要地として扱い、 i 計画期に搬入した残土を $i + 1$ 計画期に搬出することにする。図-3は残

		需要地		埋戻地	再処理施設	不良土置場	適性土置場
		供給地		1・・・n	1・・・K	1・・・T-L-2	1・・・T-1
掘削地	不良土	1 : T			1	2	
	良質土	1 : T	3				4
再処理施設	1 : K	2 : T+L	5				6
	不良土置場	2 : T+L-1		7	8		
適性土置場	2 : T		9				10

図-3 残土輸送パターン

土の輸送パターンを示したものである。図のように、残土輸送が起こり得るパターンは10通りであり、さらに各パターンの中にも計画期のズレから輸送が起こり得ないものもあり、モデル化の際には、これらを変数から除外することで変数の数を減少させることにする。なお、モデル化の際には目的関数として、建設残土の総輸送費用および処理費用、保管費用を含めた総運営費を用いることにする。

(3) 残土再利用計画モデル

通常、土量配分計画などでは輸送問題を適用することが多く、残土再利用計画においても著者等は輸送問題を適用してきた²⁾。しかしながら、古典的輸送問題では制約条件が等号のみで構成されているため、需要量、供給量は与件となるべきものであり、再処理施設が複数となると、各計画期での不良土量が再処理施設の総処理能力に満たない場合、事前に各再処理施設に割り当てられる残土量を把握することは不可能である。したがって、これまでは複数の再処理施設に対して優先順位を設定することにより残土量を決定していたことから、モデル上での総運営費最小化は図れたものの、残土再利用計画としては総運営費最小は保証されなかった。そこで、本研究では各再処理施設の搬入量を処理能力以下という条件を用いることによって決定する。すなわち、線形計画法によってモデル化を行うことにする³⁾⁴⁾。

(目的関数)

$$Z = \sum_{i=1}^{T+L} \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^N (c_{ij} + c_j^i) \times x_{ijk}^t \rightarrow \min \quad (2)$$

(制約条件)

$$\sum_{j=1}^N x_{ij}^t = a_i^t \quad (FA=1, 3, 4) \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^N x_{ijk}^t \leq P_k \quad (FA=2) \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^M x_{ij}^t = b_j^t \quad (FB=1, 3, 4) \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^M x_{ijk}^t \leq P_k \quad (FB=2) \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^N x_{ijk}^{t+1} = \sum_{i=1}^M x_{ijk}^t \quad (FA=2 \text{ かつ } FB=2) \quad (7)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^N x_{ijk}^t = S^{t-1} \quad (FA=2) \quad (8)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^M x_{ijk}^t = S^t \quad (\text{FB}=2) \quad (9)$$

ここで、

FA：供給地の種類(1=掘削地(mヶ所), 2=再処理施設, 3=不良土置場, 4=適性土置場)

FB：需要地の種類(1=埋戻地(nヶ所), 2=再処理施設, 3=不良土置場, 4=適性土置場)

t：計画期(t=1~T)

L：処理遅れ

i, j：計画期に分割した供給地, 需要地を最小単位として、それぞれに付した番号(i=1~2*m+(T+L-1)*K+2*T+L-3, j=1~n+(T+L-1)*K+2*T+L-3)

k：再処理施設数(番号)(k=1~K)

a_i^t ：供給地 i の t 期における供給量

b_j^t ：需要地 j の t 期における需要量

c_{ij} ：供給地 i から需要地 j への輸送費用

c_j ：需要地 j での処理費用あるいは保管費用

(FB=2, 3, 4)

$x_{ij(k)}^t$ ：t 期の供給地 i から需要地 j への運搬量(再処理施設では施設 k について)

P_k ：再処理施設 k の処理能力

S_k ：t 期に処理される総不良土量

ここで、式(3)、(5)は再処理施設以外の供給地、需要地から各計画期に搬出、

搬入する残土量を示している。

式(4)、(6)は各計画期でのそれぞれの再処理施設の搬出量、搬入量の総量が総処理量

以下となることを示し、式

(7)は再処理施設の搬入量と

搬出量が等しくなることを示

している。式(7)を導入した

ことにより、計算上は式(4)

あるいは(6)のどちらか一方

を制約条件として採用すれば

よいことになる。また、式

(8)、(9)は各計画期での総

処理量を示しており、これも

どちらか一方の制約条件を採用

すればよい。なお、不良土

の発生量が再処理施設の処理

能力を超える計画期では、式

(4)、(6)は等号条件となり、式(8)、(9)と同一式となるため、この場合についても制約条件を減らすことができる。

3. 適用事例とその考察

(1)適用事例

本章では、第2章で示したモデルを以下に示す仮想事例に対して適用し、その妥当性を検討する。

・計画期：T = 3

・再処理施設：K = 2

・処理能力： $P_1 = 40$, $P_2 = 30$

・掘削地： $m = 3$ (A_1, A_2, A_3)

・埋戻地： $n = 3$ (B_1, B_2, B_3)

各計画期の掘削量、埋戻量は図-4の通りである。なお、 A_1 では不良土および良質土が発生し、それぞれ $A_{1,1}$, $A_{1,2}$ とする。また、 A_2 は不良土、 A_3 は良質土のみで構成されていることとする。これらの数値から、各計画期の再処理施設、不良土置場、適性土置場の残土量を求めると表-1のようになる。ここで、表中の第3期の不良土置場の残土量から処理遅れは第2期となることがわかる。この表をもとに不良土置場、適性土置場の残土量を図-4に併記

		B-1			B-2			B-3			施設1				施設2				不良土置場	適性土置場	搬出量	
	計画期	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	4	3	1	2	
A1-1	1										4	-	-	-	6	-	-	-	-			30
	2										4	-	-	-	6	-	-	-	-			20
	3										-	4	-	-	-	6	-	-	2			40
A1-2	1	2	-	-	5	-	-	8	-	-										2	-	70
	2	-	2	-	-	5	-	-	8	-										-	2	100
	3	-	-	2	-	-	5	-	-	8										-	-	20
A-2	1										5	-	-	-	2	-	-	-	-			40
	2										-	5	-	-	-	2	-	-	-			20
	3										-	-	5	-	-	2	-	-	3			50
A-3	1	1	-	-	7	-	-	2	-	-										8	-	80
	2	-	1	-	-	7	-	-	2	-										-	8	80
	3	-	-	1	-	-	7	-	-	2										-	-	70
再処理施設1	2	-	7	-	-	5	-	-	4	-										-	4	40
	3	-	-	7	-	-	5	-	-	4										-	-	40
	4	-	-	7	-	-	5	-	-	4										-	-	40
再処理施設2	2	-	5	-	-	4	-	-	6	-										-	5	30
	3	-	-	5	-	-	4	-	-	6										-	-	30
	4	-	-	5	-	-	4	-	-	6										-	-	30
不良土置場	2	-	-	5	-	-	4	-	-	6										-	-	30
	3	-	-	5	-	-	4	-	-	6										-	-	30
	4	-	-	5	-	-	4	-	-	6										-	-	30
適性土置場	2	-	6	-	-	9	-	-	4	-										-	0	40
	3	-	-	6	-	-	9	-	-	4										-	-	40
	4	-	-	6	-	-	9	-	-	4										-	-	40
搬入量		60	100	80	30	40	90	20	110	90	40	40	40	40	30	30	30	30	20	40	40	
処理費用および保管費用											2				3				1	1		

図-4 建設残土再利用計画事例

する。また、再処理施設については処理能力を記入する。ここで、第2、第4期で不良土が40、20となり処理能力以下であるため、制約条件は式(4)(式(6))に加え、式(8)(式(9))が必要になるが、第1、第3期については、式(4)(式(6))の等号条件を用いればよい。輸送単価についても図-4に併記するが、単価が記入されているパターンのみ輸送可能となり、これに対する x_{ij}^t がモデルにおいて決定変数となる。

(2)適用事例の結果

図-4をもとに、目的関数、制約条件を作成し、シンプレックス法を用いて計算を行うと、目的関数値は3070となり、図-5に示す結果が得られた。不良土量が処理能力以下になる需要地の第2、第4期(供給地については第3、第5期)を見ると、第2期では再処理施設1、2とも20、第4期では再処理施設1のみで20の処理を行う結果となっている。この結果、1施設ずつ処理量を満たしながら不良土を処理施設に配分する必要のあった輸送問題とは異なり、処理能力以下に配分するという制約条件によって、処理施設に優先順位を設ける必要がなくなった。

4. おわりに

本研究では、建設残土の再利用に対して需給の時間的なズレや、再処理施設での土質改良による処理遅れという問題を工事期間を、分割することで解決し、その最適配分計画を線形計画問題として定式化し、シンプレックス法を用いて解くことを試みた。その結果、従来、土量配分計画で用いられることの多い輸送問題と比較して、複数の再処理施設を運用する場合に柔軟に対応することができた。今後は、不良土置場、適性土置場の複数化や、土質による処理時間の違いを考慮に入れたモ

デルを作成する予定である。

【参考文献】

1) 前田正博：東京都における建設残土対策，土木学会誌，vol. 77，pp. 46-49，1992。
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，pp. 255-262，1993。
3) 吉川和広：最新土木計画学，森北出版，1975。
4) 樗木武，渡辺義則：土木計画数学2，森北出版，1984。

表-1 計画期ごとの搬出入量

供給地		1	2	3	4	5
		良質土	不良土	搬入量	搬出量	搬入量
再処理施設1	搬入量	40	40	40	20	0
	搬出量	0	40	40	40	20
再処理施設2	搬入量	30	0	30	0	0
	搬出量	0	30	0	30	0
不良土置場	搬入量	0	0	20	0	0
	搬出量	0	0	0	20	0
適性土置場	搬入量	40	40	0	0	0
	搬出量	0	40	40	0	0
需要地	搬入量	110	250	170	70	20
	繰越量	0	0	0	90	20
	需要量	110	250	260	0	0

	計画期	B-1			B-2			B-3			施設1				施設2				不良土置場	適性土置場	搬出量
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	4	3	1	2
A1-1	1										30										30
	2										30										20
	3										20							20			40
A1-2	1				30														40		70
	2																				100
	3		100		20																20
A-2	1										10				30						40
	2														20						20
	3										20				30						50
A-3	1		60					20													80
	2							80													80
	3			60				10													70
再処理施設1	2					10		30													40
	3					20															40
	4					20		20													40
再処理施設2	2				30																30
	3				20																30
	4				30																30
不良土置場	4										20										20
適性土置場	2																		40		40
	3							40													40
搬入量		60	100	80	30	40	90	20	110	90	40	40	40	40	30	30	30	30	20	40	40

図-5 建設残土再利用計画案