

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

STUDY ON APPLICATION OF TRANSPORTATION PROBLEM
TO RECYCLE PLANNING OF SOIL SURPLUS PRODUCED BY CONSTRUCTION WORKS

和田かおる* 山本幸司**

by Kaoru Wada, Koshi Yamamoto

Recently, the volume of soil surplus has become larger and larger with increase of construction works such as subway construction and road one in urban area, and the disposal of soil surplus becomes a big social problem to be solved. So after this, effective use of soil surplus must be examined because some of them can be recycle as refill material after any chemical treatment. This paper proposes a comprehensive recycle planning of soil surplus considering a time lag of supply and demand and disposal of soil surplus, and makes it clear that an optimal planning to minimize total work load can be obtained by Transportation Problem.

1. 序論

地下鉄工事や道路工事をはじめとする都市土木工事にともなって建設残土が大量に発生するため（平成2年度で37500万 m^3 に達している）、¹⁾建設残土処理が大きな社会問題となっている。通常、掘削工のあとには構造土工が続き、さらに埋戻し工が必要となるが、掘削残土を埋戻し材として利用するためには工事現場周辺に土留置き場を確保しなければならない。しかしながら、都市内では物理的、経済的に、また現場周辺の環境保全上からも長期的に土留置き場を確保することは困難である。そのため、掘削残土は土捨場へ運び、埋戻し材については必要に応じて山砂などを購入するのが一般的となっているが、近年は都市近郊からの埋戻し材の供給も困難と

キーワード：建設残土、再処理施設、輸送問題

* 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 名古屋市中区和区御器所町)

なっている。

ところで、残土処理を考えると、単一の工事現場のみを対象とするのではなく、複数の工事現場を総括し、残土発生量・発生時期や埋戻し材の需要量・需要時期の管理を広域的に行うことで、建設残土を他現場の埋戻し材として供給できる。このような建設残土の再利用によって、残土置場の大規模かつ長期間の確保や山砂の大量購入を抑制することができる。しかしながら、各工事現場から発生する建設残土は多種多様で、直接埋戻し材として利用できないものも多くあり、これらに対しては、再処理施設においてその基準に合うよう土質改良を行わなければならない。さらに建設残土を利用する場合には需給の量・時期がバランスしないといった問題点も指摘される。

このような需給の時間的なズレや、再処理施設での処理遅れを考慮した複雑な残土輸送計画を数学的に定式化し、その最適解を求めることは困難である。

しかし本研究では工事期間の分割、ならびに供給地、需要地、再処理施設間の建設残土の輸送パターンを整理することにより、建設残土の再利用を考慮した輸送計画が古典的輸送問題によって定式化でき、総仕事量を最小とする最適計画案が得られることを明らかにする。

2. 都市内土木工事における建設残土処理問題

(1)建設残土の特殊性

建設残土は、土地の掘削などにより不可避免的に生じるものであり、資材としての山砂などとその基本的性質は同様であり、建設工事にともなって生じる副産物である。したがって、廃棄物という概念とは相容れないものであり、廃掃法（廃棄物の処理及び清掃に関する法律）においても「残土は廃棄物ではない」とされている。²⁾しかし、実際には図-1から明らかなように、コンクリート塊、アスファルトコンクリート塊などやアスベストなどの有害物質が混入しており、これらを区別することは不可能であることから廃掃法が適用されることになる。またその発生量は膨大で、各工事現場から取扱いが異なる多種多様の残土が発生するため、今までのように各廃棄物処理業者が独自に処理を行う方法では限界が生じてきている。

(2)建設残土処理の対応策

建設省では平成2年に、「総合的建設残土対策研究会」が取りまとめた報告を具体化し、平成3年には「総合的建設残土対策に関する当面の推進方策」を策定し、以下のような内容を盛り込んだ。

- ①残土発生量の抑制
- ②土質改良プラント・ストックヤードの整備促進
- ③残土の利用調整体制の強化
- ④残土受入地の拡大
- ⑤技術基準の設定

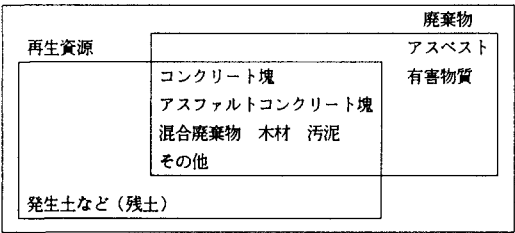


図-1 建設廃棄物と再生資源

⑥施工条件明示の徹底と積算の適正化

⑦公衆災害の防止

⑧調査研究等

これらのことから今後、建設残土処理の方向としては、「再資源化のリサイクル確立」を考える必要がある。

(3)建設残土のリサイクル促進の意義

近年の建設ブームで建設残土の発生量が増加し、その処理が問題になるだけではなく、建設資材として大量の山砂を消費することで環境破壊を招く恐れが生じている。さらに建設資材の確保についても都市周辺では困難になり、遠隔地から採取せざるを得ないため輸送効率が悪化している。しかし一方ではリサイクル促進による廃棄物の発生抑制や再利用により、最終処分地の延命化がはかられ、処分費用の節減をもたらすことも事実である。このようなことからリサイクル可能な建設残土の有効利用が注目されてきている。

ところで、リサイクルを促進させるためには、従来のようにそれぞれの民間処理業者のみに頼るのではなく、大規模で公的な処理システムが必要になる。つまり、残土とその需給バランスの情報を統括し、効率的な残土処理を行う再処理施設の整備を考えなければならない。^{1) 3)}

3. 建設残土の再利用を考慮した輸送計画

(1)再処理施設を設けた残土輸送計画の考え方

膨大な建設残土を有効利用するためには建設残土の発生と盛土材の需要を把握し、その需給バランスについて検討するとともに、前章で述べたような建設残土のリサイクルシステムを確立しなければならない。また建設残土の再利用を考えていく上では、再処理方法という”ハード”の確立だけではなく、建設残土の発生地と需要地間の輸送計画、特に再処理施設を介在させたときの輸送計画策定法という”ソフト”の確立が重要である。そこで本章では再処理施設を含めた輸送問題について検討する。

リサイクルを目的とする残土輸送計画は、複数の供給地（掘削地）で発生した残土のうち、埋戻し材として適さない残土は再処理施設へ配送し、残りは需要地（埋戻し地）へ直送する輸送計画となるため、輸送型の配分モデルとして取り扱うことができる。

ところでこのような残土輸送計画では、各供給地からの残土の発生時期や需要地での盛土材の需要時期がそれぞれ異なり、また再処理施設へ輸送された残土については、供給地を出てから需要地に搬入されるまでに時間的なズレが生じる。したがって、本研究では工事期間をいくつか分割して、その分割された期間（以下、計画期と呼ぶ）に供給地で発生する残土量と需要地で必要となる盛土量を与件として輸送計画を策定する。その際、再処理施設で要する処理時間は1計画期分とする。すなわち、第*i*計画期に再処理施設に輸送された不良土は第*i*+1計画期に改良土として供給できるものとする。しかしながら、

- ① 1計画期において再処理施設へ輸送される不良土量が再処理施設の処理能力を超える場合、
 - ② 1計画期において改良土および良質土の供給量が需要量を超える場合、
- が存在する。そこで、①では不良土置場を、②では適性土置場を新たに設定し、それぞれ余剰分を一時蓄積することを考える。図-2に供給地から需要地に至る輸送パターンを示す。

(2) 再処理施設を設けた残土輸送計画モデル

1) モデル化の前提条件

一般に土量配分計画策定に対しては古典的輸送問題（以下、輸送問題と呼ぶ）が適用されているが、本研究のような需要と供給に時間的なズレが生じる場合には、そのままでは適用できない。したがって、本研究では以下のような条件を設定することによって輸送問題を残土輸送計画に適用する。

① 工事全体での需給量のバランスについて

総需給量がバランスしない場合については従来の輸送問題と同様に仮想供給（需要）地を設け、バランスをとる。

② 各計画期ごとのバランスについて

本研究では各計画期ごとに需給量のバランスの検討を行う。そこで各計画期ごとに需給量がバランスしない場合は以下の処理を行う。

(i) 需要量>供給量の場合

供給が不足した需要地へ次計画期で優先的に供給する。

(ii) 需要量<供給量の場合

不良土置場や適性土置場へ過剰分を輸送する。この場合、供給地から再処理施設・需要地への輸送はそれぞれ不良土置場・適性土置場を経由することから、1計画期分遅れることになる。

③ 再処理施設での処理遅れについて

供給地からの最終供給期を*T*期とすると、各計画期で以下のような処理が考えられる。

(i) $t = 1$: 処理が必要となる残土は再処理施設（または不良土置場）へ輸送し、良質土については需要地（または適性土置場）へ輸送する。しかし再処理施設、不良土置場、適性土置場からの輸送は起こりえない。

(ii) $t = 2 \sim T-1$: 供給地に対しては $t = 1$ と同様であるが、再処理施設等からの改良土の輸送が認められる。

(iii) $t = T$: 供給地からの供給が終了。しかしこれ以降、再処理施設の処理能力に応じて“処理遅れ”が生じる可能性があるため、実際には以下のような計画期延長がおこる。ここで、再処理施設での処理遅れを*l*期とし、処理能力を*S*とすると、

a) *T*期に不良土置場、再処理施設の両方に不良土が存在しない場合、 $l = 0$ 。

b) *T*期に不良土置場、再処理施設の少なくともいずれかに不良土が存在する場合、*l*は*T*期時点での不良土置場内の土量(R^T)により決定する。ここで、*T*期での不良土置場内の不良土量は以下のように表わせる。

$$R^T = R^{T-1} + \sum_{i=1}^T p_i a_i - S \quad (1)$$

$$(R^{T-1} + \sum_{i=1}^T p_i a_i \geq S \text{ のとき})$$

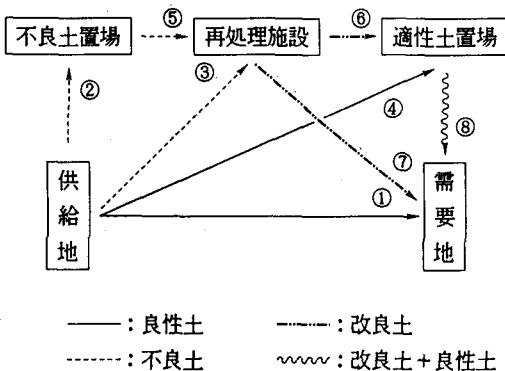


図-2 建設残土の輸送パターン

$R^T = 0 \quad (2)$

$(R^{T-1} + \sum_{i=1}^m p_i^T a_i^T < S \text{ のとき})$

ただし、 $R^0 = 0$

- p_i^T : 供給地 i で T 期に発生する不良土の割合
- a_i^T : 供給地 i で T 期に発生する残土量
- m : 供給地数 (なお需要地数は n とする)

また、

$R^T = \alpha \cdot S + \beta \quad (\alpha \geq 0, S > \beta \geq 0) \quad (3)$

と表わすと、処理遅れは、

$\beta = 0 \text{ のとき、} l = \alpha + 1$

$\beta \neq 0 \text{ のとき、} l = \alpha + 2$

となる。

④再処理施設、不良土置場、適性土置場の取扱について

残土輸送計画を策定する際、図-2の①~⑧に示された残土の流れの中で供給地から需要地へ直接輸送される①のみを扱うならば古典的輸送問題で対応可能である。しかしながら、残土の土質改良や残土余剰を考慮するためには、②~⑧の土の流れを輸送

問題の中に盛り込まなければならない。そこで、再処理施設、不良土置場、適性土置場に注目すると、各々について残土の搬入、搬出が見られ、これらの施設は需要地と供給地の両方の役割りを果たしていることがわかる。したがって、再処理施設、不良土置場、適性土置場が供給地の役割を持つ場合はそれぞれ $m+1$ 番目、 $m+2$ 番目、 $m+3$ 番目の供給地として、需要地の役割を持つ場合にはそれぞれ $n+1$ 番目、 $n+2$ 番目、 $n+3$ 番目の需要地として扱えばよく、第 i 計画期にこれらの施設に供給された残土は、第 $i+1$ 計画期においては、それぞれの施設から供給する残土となる。

⑤目的関数について

運土計画を策定する際、宅地造成やゴルフ場造成などでは土運搬に関する評価基準を設けて計画を策定すればよい。しかし、建設残土の再利用を考慮するならば、残土処理や残土の保管に要する費用についても評価に入れる必要があるが、今回は残土運搬による評価を基に計画を策定することとして、目的関数は総仕事量とする。

2) 再処理施設を設けた残土輸送計画の定式化

前項で述べた前提に従って、再処理施設を設けた

供給地	需要地	1			...			n			n+1			n+2			n+3			供給量
		1	...	T	...	...	...	1	...	T	1	...	T+l-1	1	...	T+l-2	1	...	T-1	
1	1	C_{11}	...	C_{1n}	...	C_{1n+1}	...	C_{1n+2}	...	C_{1n+3}	$(1-p_1^T)a_1^T$	$\vdots$	$(1-p_1^T)a_1^T$	$p_1^T a_1^T$	$\vdots$	$p_1^T a_1^T$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
	$\vdots$																			
	$\vdots$																			
	T																			
m	1	C_{m1}	...	C_{mn}	...	C_{mn+1}	...	C_{mn+2}	...	C_{mn+3}	$(1-p_m^T)a_m^T$	$\vdots$	$(1-p_m^T)a_m^T$	$p_m^T a_m^T$	$\vdots$	$p_m^T a_m^T$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
	$\vdots$																			
	$\vdots$																			
	T																			
m+1	2	C_{m+11}	...	C_{m+1n}	...	C_{m+1n+1}	...	C_{m+1n+2}	...	C_{m+1n+3}	a_{m+1}^2	$\vdots$	a_{m+1}^{T+l}	a_{m+1}^2	$\vdots$	a_{m+1}^{T+l-1}	a_{m+1}^2	$\vdots$	a_{m+1}^2	$\vdots$
m+2	2	C_{m+21}	...	C_{m+2n}	...	C_{m+2n+1}	...	C_{m+2n+2}	...	C_{m+2n+3}	a_{m+2}^2	$\vdots$	a_{m+2}^{T+l-1}	a_{m+2}^2	$\vdots$	a_{m+2}^{T+l-1}	a_{m+2}^2	$\vdots$	a_{m+2}^2	$\vdots$
m+3	2	C_{m+31}	...	C_{m+3n}	...	C_{m+3n+1}	...	C_{m+3n+2}	...	C_{m+3n+3}	a_{m+3}^2	$\vdots$	a_{m+3}^2	$\vdots$	a_{m+3}^2	$\vdots$	a_{m+3}^2	$\vdots$	a_{m+3}^2	$\vdots$
需要量		b_1	...	b_1	...	b_n	...	b_n	...	b_{n+1}^{T+l-1}	b_{n+1}^1	...	b_{n+2}^{T+l-2}	b_{n+2}^1	...	b_{n+3}^{T-1}	b_{n+3}^1	...	b_{n+3}^{T-1}	

図-3 建設残土輸送計画に対する輸送問題のマトリックス

残土輸送計画に対応するよう輸送問題の定式化を行うと次のようになる。^{4) 5)}

【目的関数】

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{m+3} \sum_{n=1}^{n+3} c_{ij} x_{ij}^t \rightarrow \min \quad (4)$$

【制約条件】

$$p_i^t a_i^t = x_{i(n+1)}^t + x_{i(n+2)}^t \quad (5)$$

$$(1 - p_i^t) a_i^t = \sum_{j=1}^m \sum_{n=1}^n x_{ij}^t + x_{i(n+3)}^t \quad (6)$$

$$a_{m+1}^t = \sum_{j=1}^m \sum_{n=1}^n x_{(m+1)j}^t + x_{(m+1)(n+3)}^t \quad (7)$$

$$a_{m+2}^t = x_{(m+2)(n+1)}^t + x_{(m+2)(n+2)}^t \quad (8)$$

$$a_{m+3}^t = \sum_{j=1}^m \sum_{n=1}^n x_{(m+3)j}^t + x_{(m+3)(n+3)}^t \quad (9)$$

$$b_j^t = \sum_{i=1}^m \sum_{n=1}^n x_{ij}^t + \sum_{i=1}^m x_{(m+1)j}^t + x_{(m+3)j}^t \quad (10)$$

$$b_{n+1}^t = \sum_{i=1}^m x_{i(n+1)}^t + x_{(m+2)(n+1)}^t \quad (11)$$

$$b_{n+2}^t = \sum_{i=1}^m x_{i(n+2)}^t + x_{(m+2)(n+2)}^t \quad (12)$$

$$b_{n+3}^t = \sum_{i=1}^m x_{i(n+3)}^t + x_{(m+1)(n+3)}^t + x_{(m+3)(n+3)}^t \quad (13)$$

$$a_{m+1}^{t+1} = b_{n+1}^t \quad (14)$$

$$a_{m+2}^{t+1} = b_{n+2}^t \quad (15)$$

$$a_{m+3}^{t+1} = b_{n+3}^t \quad (16)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{m+3} a_i^t = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{m+3} b_j^t \quad (17)$$

ここで、

c_{ij} : 供給地 i から需要地 j までの輸送距離

($i=1 \sim m+3, j=1 \sim n+3$)

x_{ij}^t : t 期の供給地 i から需要地 j への輸送土量

($i=1 \sim m+3, n=1 \sim n+3$)

a_i^t : 供給地 i で t 期に発生する残土量 ($i=1 \sim m$)

b_j^t : 需要地 j で t 期に必要な需要量 ($j=1 \sim n$)

a_{m+1}^t : t 期に再処理施設から供給する土量

a_{m+2}^t : t 期に不良土置場から供給する土量

a_{m+3}^t : t 期に適性土置場から供給する土量

b_{n+1}^t : t 期に再処理施設へ供給される土量

b_{n+2}^t : t 期に不良土置場へ供給される土量

b_{n+3}^t : t 期に適性土置場へ供給される土量

となる。図-3は上述の輸送問題をマトリックス表示したものである。

3) 解法上の留意点

ところで前項で定式化を行った輸送問題を解き、実行可能な残土輸送計画を策定するためには、目的関数の係数 c_{ij} 値の与え方を工夫しなければならない。それは、需要地および適性土置場へは良質土あるいは処理済土が供給され、再処理施設および不良土置場へは処理の必要な不良土が供給されなければならない。図-4に示した①～⑩の残土輸送パターン、すなわち、

- ①再処理を必要とする残土を需要地へ直接輸送すること、
- ②再処理を必要とする残土を適性土置場へ直接輸送すること、
- ③再処理不要な残土を再処理施設へ輸送すること、
- ④再処理不要な残土を不良土置場へ輸送すること、
- ⑤再処理施設から再処理施設へ改良土を輸送すること、
- ⑥再処理施設から不良土置場へ改良土を輸送すること、
- ⑦不良土置場の残土を直接需要地へ輸送すること、
- ⑧不良土置場の残土を直接適性土置場へ輸送すること、
- ⑨適性土置場から再処理施設へ適性土を輸送すること、

需要地 供給地		需 要 地	再処理施設	不良土置場	適性土置場
供 給 地	不良土	①			②
	良質土		③	④	
再 処 理 施 設			⑤	⑥	
不 良 土 置 場		⑦			⑧
適 性 土 置 場			⑨	⑩	

■ : 輸送可能ルート

図-4 供給地～需要地間の輸送ルートの分類

と、
⑩適性土置場から不良土置場へ適性土を輸送すること、
は実際には起こりえない輸送パターンであるため、
これらが輸送問題の基底変数にならないよう注意する
必要がある。そこで、これらの輸送ルートについて
は輸送距離 c_{ij} の値を ∞ と置くことによって上述
の残土輸送の発生を防ぐことができる。さらに各計
画期ごとに需給の調整を行うことを前提とすると、
同一計画期以外からの需給が認められないので、こ
れらも上記と同様に c_{ij} を ∞ とすることで対応でき
る。ただし前述した通り、需要が供給を上回る計画
期については、次計画期以降からの供給を行う必要
があるため、これらについては c_{ij} の操作は行わな
い。

4. 適用事例とその考察

(1) 問題の定式化

本章では、第3章で述べた建設残土運搬に対する
輸送計画モデルを以下に示す仮想事例に適用し、考
察を行う。

【事例】

・再処理施設の処理能力： $S = 50$

- ・供給地数：3 (A1, A2, A3)
- ・需要地数：3 (B1, B2, B3)
- ・供給量： $a_1 = 280, a_2 = 110, a_3 = 230$
- ・需要量： $b_1 = 240, b_2 = 160, b_3 = 220$
- ・計画期： $T = 3$

ここで、供給地A1では不良土、良質土の両方が
発生することとし、それぞれをA1-1、A1-2
と置き、その土量を $a_{1-1} = 90, a_{1-2} = 190$ とする。
さらにA2では不良土のみが、A3では良質土のみ
が発生することとする。また、各需給地の計画期ご
との土量と需給地および再処理施設、不良土置場、
適性土置場間の距離は図-5のように与えられたと
する。これより各計画期ごとの土量は次のようにな
る。

- ・計画期の残土（供給）量
(不良土量)：I = 70, II = 40, III = 90
(良質土)：I = 150, II = 180, III = 90
(総残土量)：I = 220, II = 220, III = 180
- ・計画期の需要量
(需要量)：I = 110, II = 250, III = 260

ここで本事例の定式化を行うために、各計画期の
需給のバランスを検討する。まず、第I計画期では
需要量が110に対して良質土の供給が150であるた

需要地 供給地	B-1			B-2			B-3			再処理施設				不良土置場			適性土置場		残土量
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	IV	I	II	III	I	II	
A1-1	I									9				3					30
	II																		20
	III																		40
A1-2	I																3		70
	II	2			5			8											100
	III																		20
A-2	I									8				4					40
	II																		20
	III																		50
A-3	I																9		80
	II	1			7			2											80
	III																		70
再処 理施 設	II																5		
	III																		
	IV																		
不良 土置 場	V																		
	II																		
	III																		
適性 土置 場	IV									4				0					
	II																		
	III																		
需 要 量		60	100	80	30	40	90	20	110	90									

図-5 建設残土輸送計画事例

め40の良質土が余る。したがって、第1計画期では40の良質土が適性土置場に送られることになる。また、不良土については、再処理施設の処理能力が50であるため、50は再処理施設へ、残りの20は不良土置場へ送られることになる。次に第2計画期では、需要量に対して良質土が70不足するが、第1計画期で余った良質土40と再処理施設で処理された改良土50により補うことができ、ここで余った適性土20は適性土置場に送られる。さらに、不良土は第1計画期で処理できなかった20と第2計画期の40の合計60となり、このうち50が再処理施設へ、残りの10が不良土置場に送られる。第3計画期以降も同様にしてそれぞれの土量が求められる。なお本事例では、再処理施設の処理能力が($S=$)50であるから、第3計画期での不良土置場内の土量は、

$$R^3 = 50 = 1 \cdot S + 0 \quad (\alpha = 1, \beta = 0) \quad (18)$$

となり、処理遅れは、

$$l = \alpha + 1 = 1 + 1 = 2 \quad (19)$$

となる。したがって、全体の工事が終了するのは第5計画期となる。図-6に再処理施設等を含めた各計画期ごとの需要量、供給量を示す。さらに輸送ルートについては、残土輸送の可能性のないルートに対して、その距離を ∞ にする操作を行い、それを図

-6に併記する。

(2) 残土輸送計画の策定

本事例に対する残土輸送計画を策定するためには、この図-6に示された輸送問題を解けばよい。ここで、需要地、供給地、再処理施設、不良土置場、適性土置場の各計画期をそれぞれ1つの需要地あるいは供給地と考えれば、供給地数21、需要地数15の輸送問題となるため、従来の方法で解くことが可能となる。図-7にその結果を示す。これより、需要地B-3については各計画期の需要は当該計画期で満たされるが、B-1およびB-2については、第3計画期での供給不足を第4・5計画期で満たしていることがわかる。また適性土置場では第2計画期から第2計画期に輸送される土量が発生しているが、これは第2計画期において供給過剰となった土量をそのまま適性土置場に据え置くことを示している。このほかの残土輸送についても、各計画期ごとに輸送され、輸送距離を ∞ とする操作を行った輸送ルートについては残土輸送が起こっておらず、実行可能かつ総仕事量最小となる残土輸送計画が策定できた。

(3) 一般的な残土輸送計画への適用に関する考察

本研究では、再処理施設での土質改良による処理時間をすべて1計画期としていたが、土質によって

需要地 供給地	B-1			B-2			B-3			再処理施設				不良土置場			適性土置場		残土量
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	IV	I	II	III	I	II	
A1-1	I									9	∞	∞	∞	3	∞	∞			30
	II	∞		∞			∞			∞	9	∞	∞	∞	3	∞	∞		20
	III									∞	∞	9	∞	∞	∞	3			40
A1-2	I	2	∞	∞	5	∞	∞	8	∞	∞							3	∞	70
	II	∞	2	∞	∞	5	∞	∞	8	∞	∞			∞			∞	3	100
	III	∞	∞	2	∞	∞	5	∞	∞	8							∞	∞	20
A-2	I									8	∞	∞	∞	4	∞	∞			40
	II	∞			∞			∞		∞	8	∞	∞	∞	4	∞	∞		20
	III							∞		∞	∞	8	∞	∞	∞	4			50
A-3	I	1	∞	∞	7	∞	∞	2	∞	∞							9	∞	80
	II	∞	1	∞	∞	7	∞	∞	2	∞	∞			∞			∞	9	80
	III	∞	∞	1	∞	∞	7	∞	∞	2							∞	∞	70
再処理施設	II	∞	4	∞	∞	2	∞	∞	8	∞							∞	5	50
	III	∞	∞	4	∞	∞	2	∞	∞	8				∞			∞	∞	50
	IV	∞	∞	4	∞	∞	2	∞	∞	8	∞			∞			∞	∞	50
	V	∞	∞	4	∞	∞	2	∞	∞	8							∞	∞	50
不良土置場	II									∞	4	∞	∞	∞	0	∞			20
	III	∞			∞			∞		∞	∞	4	∞	∞	0		∞		10
	IV							∞		∞	∞	∞	4	∞	∞	∞			50
適性土置場	II	∞	6	∞	∞	9	∞	∞	4	∞				∞			∞	0	40
	III	∞	∞	6	∞	∞	9	∞	∞	4							∞	∞	20
需要量	60	100	80	30	40	90	20	110	90	50	50	50	50	20	10	50	40	20	

図-6 建設残土輸送計画モデル

その処理時間は異なると考えられる。したがって、このことを、定式化に組込むためには、輸送問題として解く際、個々の供給地からの発生量を計画期に分割し、それぞれを独立した供給地として扱ったように、各計画期内においても処理時間の異なる土質ごとに供給量を分割し、それぞれを供給地として処理時間を設定すればよい。また、盛土材として残土のみを利用するのではなく、山砂を購入する場合については、事例中のA-3のように処理を必要としない残土と同様に扱うことで対応できる。

5. 結論

地下鉄工事や道路工事をはじめとする都市土木工事は年々増加の一途をたどっているが、掘削工事にもなう建設残土処理が大きな社会問題となっており、これに対処するためには大規模かつ公的な処理システムを導入し、適性土および不良土を含めて需給バランスの情報を統括し、効率的な残土処理とその輸送計画を策定することが必要である。

ところで、これらの建設残土を有効利用する場合には、需給の時間的なズレや、再処理施設での残土の土質改良による処理遅れを考慮しなければならず、残土輸送計画を策定する際には、輸送問題を動的に

解く必要がある。しかしながら本研究では、統括している一連の工事に対し、その工事期間をいくつかの計画期に分割し、需要地、供給地の各計画期をそれぞれ輸送問題の対象と考えることで、従来の輸送問題が適用可能であることを明らかにした。その際、目的関数の係数行列である輸送距離の値を操作することで、輸送可能なルートの限定を行うことができた。しかし、今後は工事期間の分割や再処理施設の処理能力による影響や、処理費用、残土保管費用などを評価基準の対象とすることを検討する必要がある。

【参考文献】

1) 前川秀和：建設省における建設副産物の資源化対策，土木学会誌，vol.77，pp.42~45，1992.
2) 厚生省生活衛生局 水道環境部産業廃棄物対策室編集：産業廃棄物処理ハンドブック，pp.339~368，ぎょうせい，1986.
3) 前田正博：東京都における建設残土対策，土木学会誌，vol.77，pp46~49，1992.
4) 横山勝義：輸送・運搬におけるOR技法，培風館，1964.
5) 吉川和広：最新土木計画学，森北出版，1975.

需要地 供給地	B-1			B-2			B-3			再処理施設				不良土置場			適性土置場		残土量
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	IV	I	II	III	I	II	
A1-1	I									10				20					30
	II									10				10					20
	III													40					40
A1-2	I			30													40		70
	II	100																	100
	III		20																20
A-2	I									40									40
	II									20									20
	III									40				10					50
A-3	I	60					20												80
	II						80												80
	III						70												70
再処理施設	II			40			10												50
	III				50														50
	IV		50																50
	V		10		40														50
不良土置場	II									20									20
	III									10									10
	IV										50								50
適性土置場	II						20										20		40
	III						20												20
需要地	60	100	80	30	40	90	20	110	90	50	50	50	50	20	10	50	40	20	

図-7 最適残土輸送計画