

建設残土再利用計画システムの構築に関する一考察

Study on development of recycle plan system for surplus soil

名古屋工業大学 ○和田かおる*

名古屋工業大学 山本幸司**

By Kaoru WADA, Koshi YAMAMOTO

建設残土は建設工事における掘削工などにより不可避免的に生じるが、近年、都市土木工事の需要拡大に伴い、その発生量は増加の一途をたどっている。そのため、建設残土の処理場の確保が困難となってきたり、自然環境の保護や資源の有効利用という観点からも建設残土を再生資源として再利用することの重要性が高まってきた。しかしながら、工事現場間において建設残土を埋戻材として再利用する際には、必要な時期、品質、量などを総合的に考慮し、効率的、経済的に建設残土を再利用するためのシステムの構築が必要である。そこで本研究では、これらの条件を満たすため、土質改良を行う再処理施設および利用時期を調節するストックヤードを含め、建設残土が発生する工事現場(掘削地)から埋戻材、盛土材を必要とする工事現場(埋戻地)への建設残土の配分計画を立案するためのシステムについて考察を行う。

【キーワード】情報管理、建設残土、資源再利用

1. はじめに

近年、新たな都市施設の整備や地下利用の拡大など土地利用の高度化に伴う建設工事によって建設残土の発生量(平成2年:37500万 m^3 ,平成5年:43700万 m^3)が増大している¹⁾。しかしながら、都市化に伴う空地の減少、港湾埋立てに対する各種規制、内陸での土地造成の拡大、さらには環境保全から土地利用の規制強化などにより、残土の受入需要が減少してきている。このため、残土受入地までの運搬距離の遠隔化、大型車での運搬に伴う騒音公害などの各種社会問題、受入地周辺の住民からの苦情といった諸問題が発生しており、その結果として、建設残土問題は社会基盤施設整備事業そのものにまで影響を与えかねない状況となっている。したがって、建設残土の合理的な処理方法の確立は早急に解決されるべき重要な課題となっている。

このような状況の中、図-1に示されている建設残土を含めた建設副産物の再利用を推進するために、「再生資源の利用促進に関する法律」や、「産業資源再生処理の特定施設の整備に関する法律」も施行され、再生処理施設の立地を促進するため、周辺公共施設整備の支援も合わせて実施できるようになってきた²⁾。さらに、この種の政策の一つとして建設残土利用の拡大化が取り上げられ、工事現場間においてできるかぎり残土を相互に有効利用することが

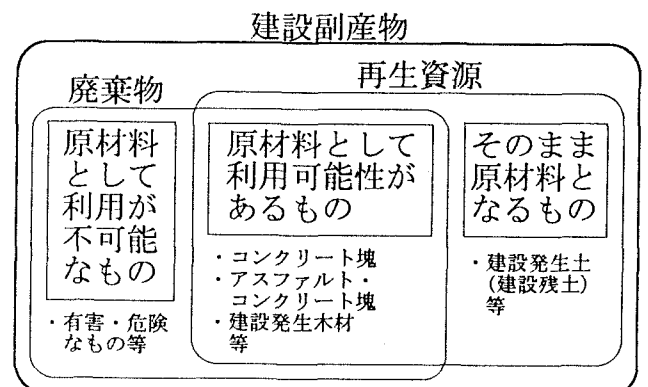


図-1 建設副産物の概要²⁾

* 社会開発工学科 052-735-5496

** 社会開発工学科 052-735-5484

提案された。しかしながら、建設残土の再利用を円滑に推進するためには、①必要な時期に、②必要な土質で、③必要な量を、④利用する場所の周辺環境などに十分配慮して適正に供給することが必要である。そして、そのままでは埋戻材あるいは盛土材として適さない残土を土質改良するための再生処理プラント(再処理施設)、および残土の量、利用時期を調整するためのストックヤード(適性土置場、不良土置場)などを合わせて整備することも必要である³⁾。

そこで本研究では、特に建設残土の効率的、経済的な配分計画の策定を目的として、掘削地から再処理施設、ストックヤードを経由した埋戻地への建設残土の輸送という現象が線形計画法⁴⁾により定式化できることを明らかにし、建設残土再利用計画システムの構築に対する検討を行う。

2. 建設残土再利用の概要

(1) 建設残土の流れ

通常、建設工事は掘削、構造物の建設、埋戻しという3段階に分けることができる。したがって、掘削した残土を埋戻用材として再び利用するためには、工事現場周辺に構造物が完成するまでの一定期間保管できる仮置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、建設残土を工事現場周辺に

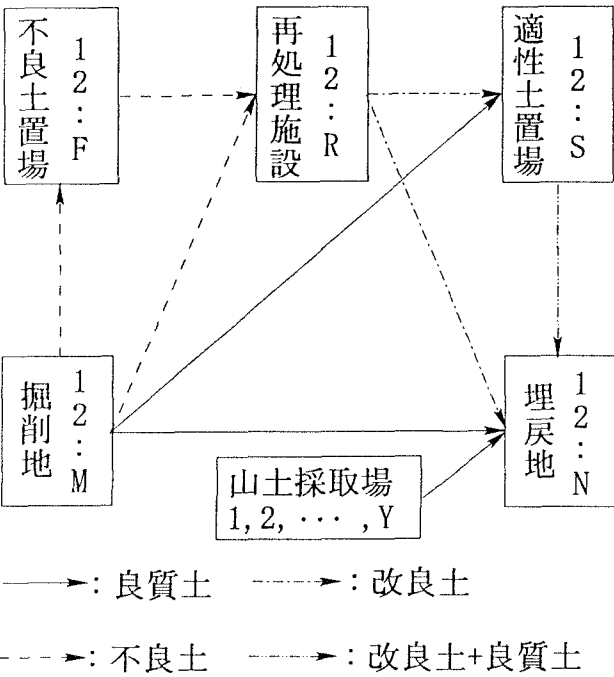


図-2 建設残土の流れ

仮置くことは困難である。さらには、建設残土の中には埋戻材としての品質を備えていないものもあり、これらに対しては再処理施設で土質改良を行わなければならない。したがって、建設残土を再利用するにはストックヤード、再処理施設を整備するとともに、できるだけ数多くの工事現場を統括し、残土の発生量・発生時期や埋戻材の需要量・需要時期の管理を広域的に行い、建設残土を他現場の埋戻材として供給することが必要である。

図-2はこのような観点から建設残土の流れを示したものである。残土のみで需要を満たすことが困難な埋戻地が存在することも想定し、ここでは山土を購入することも考慮に入れている。また、再処理施設、ストックヤードでは残土の搬出入が行われることから明らかなように、これらは需要地、供給地の両方の役割を果たすことになる。いずれにしても、この図より建設残土の再利用計画は供給地から需要地への残土の配分・輸送計画を扱う問題としてとらえることができる。

(2) 工事期間分割のための計画期の導入

建設残土の再利用では、掘削地、埋戻地のほか再処理施設、ストックヤードを含め、多くの工事を対象として長期間にわたる計画を策定することになる。すなわち、宅地造成工事やゴルフ場造成工事などで行われる現場内土運搬とは異なり、時間経過を踏まえた動的な計画を策定しなければならない。しかしながら、基本的には前述の通り、供給地～需要地間の輸送を扱う問題であるため、定式化、計算などが複雑になる動的計画法を導入するよりは、適用が容易な線形計画法で定式化できることが望ましい。

そこで、図-3に示すように工事期間をいくつかの計画期に分割し、掘削地での掘削量、埋戻地での

計画期	1	2	3	...
日程	1 2 3	...	...	...
掘削地	1 2 : M	...	...	...
埋戻地	1 2 : N	...	...	...

図-3 工事期間の分割

埋戻量、再処理施設の処理能力などを計画期ごとに求めることで、各計画期単位で建設残土の再利用計画の策定を行う。このような計画期への分割は、計画対象工事数が少なくなることで、さらに掘削時期と埋戻時期が大きく異なる工事間での再利用を計画の対象からはずすことができるなど計画立案に際して有効である。

3. 建設残土再利用計画の定式化

(1) 定式化の前提条件

1) 各計画期における需要供給のバランス

建設残土の再利用では再処理施設、ストックヤードが需要地と供給地の役割を果たすため、需給関係が複雑になるが、需要地側からみると、①埋戻地に対しては掘削地、再処理施設、適性土置場、山土採取場、②再処理施設に対しては掘削地、不良土置場、③不良土置場に対しては掘削地、④適性土置場に対しては掘削地、再処理施設、がそれぞれ供給地となる。ここで、本研究では建設残土の再利用を最大限考えることとし、山土の購入よりも建設残土の利用を優先することにする。すなわち、各計画期で必要となる総埋戻量に対し、掘削地、再処理施設、適性土置場からの適性土の総供給量が不足する場合に限り山土を購入し、適性土の総供給量が上回る場合は適性土置場で保管する。再処理施設については、その処理能力を超える不良土が掘削地、不良土置場から供給される場合は、余剰量を不良土置場で保管する。また、不良土置場、適性土置場の両ストックヤードでは、これらの保管量を上回る供給がある場合には、計算処理上、仮想的に不良土置場、適性土置場を設定することにする。最後に決定変数として扱う残土輸送量は、輸送時（すなわちほぐした状態）の土量に換算できているものとする。

2) 計画期間長と再処理時間

上述の通り、建設残土の再利用では複数の工事を対象として、工事期間を

計画期に分割し、各計画期ごとに再利用計画を策定することになるが、この場合、計画期間をどの程度の長さで設定すべきかが問題となる。計画期間を短くとれば詳細な計画が策定可能であるが、短期間を対象とする土量情報は得にくく、計算量も増大する。一方、計画期間を長くすれば土量情報は得易く、計算量も少なくなるが、一つの計画期間内においても掘削、埋戻時期にずれが生じる問題がある。

再処理施設での処理時間を考慮する際、計画期間と処理時間が対応するよう処理時間を1計画期間とすれば、定式化も容易である。著者等もこれまでの研究では^{5),6)}、処理時間を計画期間として定式化を行ってきたが、計画期を長くすると処理時間も長くなり、改良土の供給が遅れるといった問題が生じた。このことから、計画期と処理時間は必ずしも一致する必要がなく、個々に設定できることが望ましい。したがって、本研究では計画期間と処理時間を個々に設定（計画期間 $\geq$ 処理時間）して定式化を行う。すなわち、計画期間をTX日、処理時間をTG日とすると、計画期の前半（TX-TG）日目までに再処理施設に搬入されればその計画期内で埋戻材として利用可

			需 要 地				供 給		
			j	埋戻地(N)	再処理施設(R)	不良土置場(F)			適性土置場(T)
i			計画期	1 . . . T	lp lq . . . Tp Tq	1 . . . T	1 . . . T	量	
供 給 地	掘削地(N)	不良土(前期)	lp	x_{ij}^{lp} x_{ij}^{lq} ...	x_{ij}^{lp} x_{ij}^{lq} ...	x_{ij}^{lp} x_{ij}^{lq} ...	x_{ij}^{lp} x_{ij}^{lq} ...	a_i^{lp} a_i^{lq} ...	①
		不良土(後期)	lq						
			Tp						
			Tq						
	地質土	1	x_{ij}^1	x_{ij}^{lp} x_{ij}^{lq} ...	x_{ij}^{lp} x_{ij}^{lq} ...	x_{ij}^{lp} x_{ij}^{lq} ...	x_{ij}^{lp} x_{ij}^{lq} ...	a_i^1 ...	②
		T	x_{ij}^T						
	再処理施設(R)	lp	x_{ij}^{lp}	x_{ij}^{lp} x_{ij}^{lq} ...	x_{ij}^{lp} x_{ij}^{lq} ...	x_{ij}^{lp} x_{ij}^{lq} ...	x_{ij}^{lp} x_{ij}^{lq} ...	a_i^{lp} a_i^{lq} ...	③
		Tp	x_{ij}^{Tp}						
		Tq	x_{ij}^{Tq}						
ストックヤード	2	x_{ij}^2	x_{ij}^{2p} x_{ij}^{2q} ...	x_{ij}^{2p} x_{ij}^{2q} ...	x_{ij}^2 ...	x_{ij}^2 ...	a_i^2 ...	④	
	T	x_{ij}^T							
適性土置場(T)	2	x_{ij}^2	x_{ij}^{2p} x_{ij}^{2q} ...	x_{ij}^{2p} x_{ij}^{2q} ...	x_{ij}^2 ...	x_{ij}^2 ...	a_i^2 ...	⑤	
	T	x_{ij}^T							
山土採取場(Y)	1	x_{ij}^1	x_{ij}^{1p} x_{ij}^{1q} ...	x_{ij}^{1p} x_{ij}^{1q} ...	x_{ij}^1 ...	x_{ij}^1 ...	a_i^1 ...	⑥	
	T	x_{ij}^T							
需 要 量			b_j^1 . . . b_j^T	Pr_j	Pf_j	Pt_j			
			①'	②'	③'	④'			

図-4 建設残土輸送のマトリクス

能となり、計画期の後半（TX-TG+1）日目以降に再処理施設に搬入された場合は次計画期に埋戻材として利用可能となる。以下では、計画期 t に対して、前者を tp 、後者を tq と表し、必要に応じて t 、 tp 、 tq を区別することにする。

（２）線形計画法による定式化

建設残土の再利用では図－４に示すように、掘削地、再処理施設、ストックヤード、山土採取場を供給地とし、埋戻地、再処理施設、ストックヤードを需要地とする配分・輸送問題として考えることができる。この図からわかるように、実際には計画期単位で需給を考えるため、これらの供給地、需要地をさらに計画期ごとに分割し、これを最小単位として計画を策定する。通常、このような供給地から需要地への配分問題は輸送問題を適用すればよいが、制約条件が全て等号条件となることは少なく、制約も複雑になる。ところで、図中の斜線部分に対応する供給地～需要地間は、残土の需給の対象にならないため、このようなルートはあらかじめ削除できる。また、それ以外の供給地～需要地間でも計画期が対応しない場合は削除できることから、輸送の対象となる需給のペアのみを変数として採用すれば、輸送問題よりも線形計画法による定式化の方が有利である。そこで、輸送費用、処理費用、保管費用および山土購入費用を含めた総費用の最小化を目的とする線形計画問題として以下のように定式化する。

【目的関数】

$$z = \sum_{(t)} \sum_i \sum_j (c_{ij} + cr_j + cf_j \cdot lf_{ij}^{(t)} + cs_j \cdot ls_{ij}^{(t)} + cy_i) \cdot x_{ij}^{(t)} \Rightarrow \min \quad (1)$$

【制約条件】

$$\sum_j x_{ij}^{tp} = a_i^{tp}, \sum_j x_{ij}^{tq} = a_i^{tq} \quad (2)$$

$$\sum_j x_{ij}^t = a_i^t \quad (2), (6) \quad (3)$$

$$\sum_j x_{ij}^{tp} \leq Pr_i^{tp}, \sum_j x_{ij}^{tq} \leq Pr_i^{tq} \quad (3) \quad (4)$$

$$\sum_i x_{ij}^{tp} = \sum_j x_{ij}^{tq}, \sum_i x_{ij}^{(t-1)q} = \sum_j x_{ij}^{tp} \quad (3), (2') \quad (5)$$

$$\sum_i \sum_j x_{ij}^{tp} = Sr^{tp}, \sum_i \sum_j x_{ij}^{tq} = Sr^{tq} \quad (2') \quad (6)$$

$$(j=N+1 \sim N+K) \quad (6)$$

$$\sum_j x_{ij}^{(t)} \leq Pf_i \quad (4) \quad (7)$$

$$\sum_i x_{ij}^{(t-1)} = \sum_j x_{ij}^{(t)} \quad (4), (3') \quad (8)$$

$$\sum_i \sum_j x_{ij}^{(t)} = Sf^t \quad (3') \quad (j=N+K+1 \sim N+K+F) \quad (9)$$

$$\sum_j x_{ij}^t \leq Ps_i \quad (5) \quad (10)$$

$$\sum_i x_{ij}^{t-1} = \sum_j x_{ij}^t \quad (5), (4') \quad (11)$$

$$\sum_i \sum_j x_{ij}^t = Ss^t \quad (4') \quad (j=N+K+F+1 \sim N+K+F+S) \quad (12)$$

$$\sum_i x_{ij}^{(t)} = b_j^t \quad (1') \quad (13)$$

ここで、

z : 目的関数

T : 計画期数

t : 計画期 ($t=1 \sim T$) , tp : t 期前期, tq : t 期後期 (t) : t 期, t 期前期(tp), t 期後期(tq)すべてを含む

M : 掘削地の数, N : 埋戻地の数

R : 再処理施設の数, Y : 山土採取場の数

F : 不良土置場の数, S : 適性土置場の数

i : 供給地番号 ($i=1 \sim M+R+F+S+Y$)

j : 需要地番号 ($j=1 \sim N+R+F+S$)

$x_{ij}^{(t)}$: (t) 期に供給地 i から需要地 j へ輸送する土量

c_{ij} : 供給地 i から需要地 j への輸送単価

cr_j : 再処理施設での処理単価

cf_j : 不良土置場での 1 日当りの保管単価

cs_j : 適性土置場での 1 日当りの保管単価

$lf_{ij}^{(t)}$: (t) 期の不良土置場での保管日数

$ls_{ij}^{(t)}$: (t) 期の適性土置場での保管日数

cy_i : 山土購入単価

$a_i^{(t)}$: (t) 期の掘削地 i , 山土採取場 i での供給量

b_j^t : (t) 期の埋戻地 j での需要量

Pr_i^{tp} : 再処理施設 i の t 期前期の処理能力

Pr_i^{tq} : 再処理施設 i の t 期後期の処理能力

Sr^{tp} : t 期前期に再処理施設で処理される量

Sr^{tq} : t 期後期に再処理施設で処理される量

Pf_i : 不良土置場 i の保管能力

Sf^t : t 期に不良土置場で保管する量

Ps_i : 適性土置場 i の保管能力

Ss^t : t 期に適性土置場で保管する量

以下、各式を簡単に説明する。まず、目的関数は前述の通り、輸送費用、処理費用、保管費用および山土購入費用を合計したものとなっている。ここで、ストックヤードでの保管費用は前期から保管されているか、あるいは後期から保管されたかで保管期間が異なるため、それぞれの保管日数を乗じて算出している。また、各制約条件に示されている①～⑥お

よび①'～④'は図-4に示された番号に対応し、それぞれの番号の供給地、需要地に対する制約条件となっており、図中の行あるいは列の変数値を合計したものと供給量あるいは需要量との関係を示したものである。たとえば、式(2)は掘削地から発生する不良土について、計画期(この場合、前期と後期に分割)ごとに各需要地に供給した土量を合計したものである。同じく式(3)は掘削地から発生する良質土と山土採取場に対する制約である。一方、式(13)は埋戻地に対して計画期ごとに各供給地から供給された土量を合計したものである。これらの制約条件式は輸送問題で用いられる制約条件と同様である。したがって、建設残土の再利用を対象とした場合、上述以外の制約条件が、通常、運土計画で適用される輸送問題と異なってくる。

式(4)、(7)、(10)は再処理施設、不良土置場、適性土置場それぞれに供給される残土量がその処理能力、保管能力を上回らないようにするために設定する。また、式(5)、(8)、(11)は再処理施設、不良土置場、適性土置場での需要と供給の関係を示したものである。このうち、式(5)はある計画期の前期に処理を行う場合、同じ計画期の

後期には埋戻材として用いることができ、計画期の後期に処理を行う場合は次計画期の前期に埋戻材として用いることができることを示している。なお、式(6)、(9)、(12)は各計画期の再処理施設での処理量、不良土置場、適性土置場での保管量を示している。これらの式は、式(4)、(7)、(10)の条件が不等号となる場合にのみ必要となる。ただし、最終計画期であるT期(再処理施設の場合はTq期)については、式(5)、(8)、(11)の制約条件式が対応しないため、省略することはできない。

4. 建設残土再利用計画のシステム化

本研究では、建設残土再利用計画問題を上述のように線形計画法によって定式化した。したがって、これを解くにはシンプレックス法⁷⁾を適用すればよいが、表-1のように得られたデータをそのまま前述の制約条件式に変換することはできない。そこで、一連の計算を図-5に示す6つのパートに分割してプログラムを作成し、最適解を求めることにする。また、線形計画法で解く際、変数の数が多くなり一回の計算で第1計画期から最終計画期(第T計画期)までを処理できないため、計算処理可能な計画期間数を設定し、その計画期数を1サイクルとしてSTEP3～5を繰り返し実行することになる。

STEP1：掘削工事(掘削地)の掘削量、埋戻工事(埋戻地)の埋戻量、および各工事の工事開始日、終了日を入力し、工事ごとに工期を求め、1日当りの掘削量、埋戻量を計算する。さらに、工事全体の工期(最早工事の開始日から最遅工事の終了日まで)を計算する。

STEP2：計画期間長を入力し、STEP1で求めた工事全体に対する工期から計画期数を計算する。さらに、処理時間、1サイクルの計画期数および再処理施設、ストックヤードのデータを入力し、STEP1で作成したデータをもとに計画期ごとの掘削量、埋戻量、処理量、保管量、山土購入量(搬出入量)を求める。計算サイクル(RCT)を0としておく。

STEP3：RCTサイクルに含まれる計画期に対してSTEP

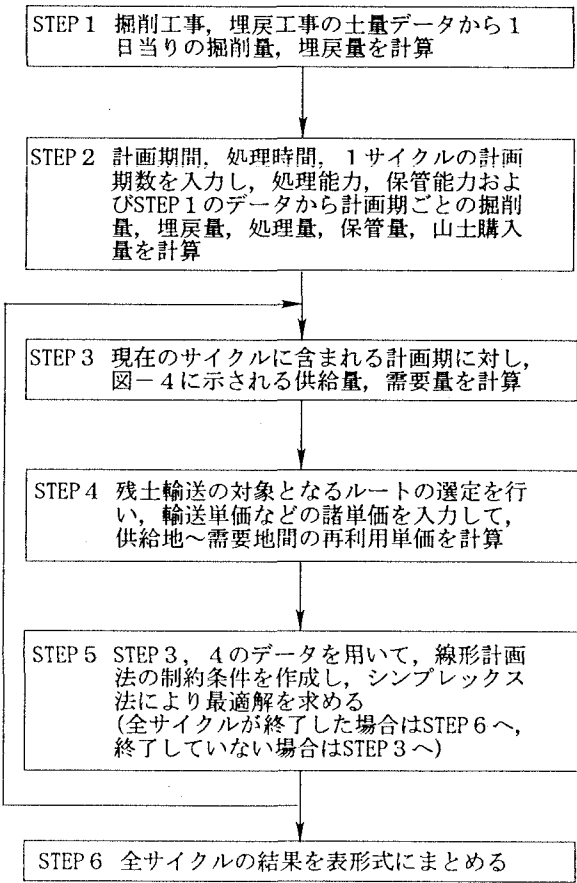


図-5 計算のフロー

2で作成したデータをもとに図-4に示される供給量、需要量の値を計算する。

STEP 4 : 図-4に示される残土輸送の対象となるルート(図中の変数が入っている場所)を見つける。輸送単価、処理単価、保管単価、山土購入単価を入力し、各ルートの再利用単価を計算する。

STEP 5 : STEP 3, 4で作成されたデータを用いて制約条件を求めるとともに、シンプレックス法の第1ステップを完成させる。シンプレックス法により最適解を求める。ここで全サイクルが終了している場合はSTEP 6へ、終了していない場合はRCTに1を加えてSTEP 3へ進む。

STEP 6 : 各サイクルごとの結果を集計し、全体の計画をまとめる。各供給地から需要地への輸送量を合計した計画(表-4, 5, 6参照)と各供給地から需要地への輸送量を計画期ごとに表形式にまとめた詳細計画(表-7参照)を作成する。

5. 適用事例とその考察

(1) 適用事例

ここでは、掘削地を4ヶ所、埋戻地を3ヶ所、再処理施設、不良土置場、適性土置場をそれぞれ2ヶ所、さらに山土採取場を1ヶ所、また発生する不良土は1種類と仮定して表-1, 2に示すような仮想事例に対して建設残土再利用計画を策定する。なお、計画期間と処理時間については次の3ケースを設定し、それぞれの結果を検討する。

①計画期間を10日、処理時間を5日

②計画期間を5日、処理時間を5日

③計画期間を5日、処理時間を3日

計画期ごとの掘削量、埋戻量は各掘削工事、埋戻工事を工事期間で割った1日当りの土量をもとに求める。再処理施設の処理能力も表-1の1日当りの処理能力をもとに計算する。また、休日は現在のところ土日のみに設定しているため、1週間の実稼働日数は5日間となっている。

(2) 結果の考察

4. で示したフローにしたがって計算を行い、各

ケースについて再利用費用を最小とする計画を得た。ここでは、目的関数値を表-3に、各ケースにおける現場間および施設間の残土輸送量をそれぞれ表-4, 5, 6に示す。

表-3をみると計画期間長、処理時間を長く設定した方が目的関数値が小さくなるという傾向が見られた。また、表-4, 5, 6を比較すると、各ケースとも大きな差異は見られなかったが、ストックヤードの利用状況が異なっている。特に、ケース②では不良土置場F1が一度も利用されなかった。ケース①では他のケースと比較し、埋戻地B1, B2では掘削地から直接供給される良質土の量が多く、埋戻地B3については適性土置場からの供給量が多くなっている。また、処理時間の違いから、山土の購入量に変化が生じた。これは、処理時間が長ければ改良土として利用できるまでに時間がかかるため、その間に山土を余分に購入するためである。

表-7にケース①の計画期ごとの詳細な残土輸送計画を示す。縦軸のA1~Yまでは各供給地が計画期ごとにどの需要地へどれだけの土量を供給したかを

表-1 適用事例

		土量	工事期間	暦日	実働
掘削地	A1	6300	95. 1. 25~95. 4. 21	87日	63日
	A2	8250	95. 3. 6~95. 5. 19	75日	55日
	A3	4800	95. 4. 5~95. 6. 9	66日	48日
	A4	5600	95. 5. 24~95. 6. 30	38日	28日
埋戻地	B1	7800	95. 1. 23~95. 3. 16	53日	39日
	B2	5250	95. 4. 12~95. 5. 30	49日	35日
	B3	12900	95. 5. 10~95. 7. 7	59日	43日
再処理施設		処理能力(R1: 30/日, R2: 40/日)			
不良土置場		保管能力(F1: 500, F2: 1000)			
適性土置場		保管能力(T1: 3500, T2: 4500)			
山土採取場		Y(必要に応じて)			

表-2 再利用計画の諸単価

	B1	B2	B3	R1	R2	F1	F2	T1	T2	山土購入料
A1	3	7	4	3	6	5	2	5	8	---
A2	3	6	7	5	4	6	3	2	8	---
A3	6	5	5	4	6	3	9	7	3	---
A4	6	4	10	8	3	7	8	4	7	---
R1	3	5	3	---	---	---	---	5	5	---
R2	3	2	8	---	---	---	---	3	4	---
F1	---	---	---	3	5	0	7	---	---	---
F2	---	---	---	5	7	7	0	---	---	---
T1	2	5	7	---	---	---	---	0	6	---
T2	5	3	7	---	---	---	---	6	0	---
Y	12	10	11	---	---	---	---	---	---	2
処理・保管料	---	---	---	3	3	2	2	2	2	---

示しており、同様にB1～T2までは各需要地が計画期ごとにどの供給地からどれだけの土量が供給されたかを示している。

本事例では工事全体の実稼動日数（95.1.23～95.7.7の土日を除いた日数）は120日となった。したがって、ケース①は計画期間が10日であることから計画期数は12計画期、ケース②、③は計画期間が5日であるため計画期間数は24計画期となる。また、プログラム実行にあたっては、ケース①、③は2計画期を1サイクル、ケース②については3計画期を1サイクルとして計算を行ったため、各ケースの繰返し計算の回数はケース①で6サイクル、ケース②で8サイクル、ケース③で12サイクルとなり、計算効率からも、計画期間を長く設定することが望ましいことがわかる。一方、計画期間と処理時間を一致させると、計画期を前期、後期に分割する必要がないことから、変数の数が減少し、1サイクルでより多くの計画期を対象に計算することが可能となり、効率が良いことがわかった。

なお、本事例では再処理施設およびストックヤードが事前に整備されているという前提のもとで、建設残土の配分や施設の利用状況を分析したが、施設整備を行う場合についても、施設的能力、容量について様々なケースを設定して計算を行うことで必要な能力、容量を決定できる。

6. おわりに

都市土木工事の増加にともなって建設残土の処理が大きな社会問題となっているが、近年、建設残土を再利用する動きが出てきている。この場合、効率的に再利用するには公的機関による大規模な処理システムを導入し、適性土および不良土を含めた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。

本研究では、掘削工事、埋戻工事それぞれの現場から得られる情報をもとに、経済的かつ効率的に建設残土を再利用することを目的として、工事現場、再処理施設、およびストックヤードを含めた建設残土の輸送計画を策定するためのシステム構築について検討した。その結果、建設残土の再利用は線形計画法による最適化問題として扱うことが可能である

ことを明らかにし、輸送計画を策定するためのコンピュータプログラムを構築できた。

しかしながら、今後は計画期間長をどの程度に設定し、どのレベルまでの計画を策定すべきかなどについて検討する必要がある。また、線形計画法を用いていることから、目的関数は残土輸送量を変数とする線形結合式で表現しなければならないが、この

表－3 目的関数値

	計画期間	処理時間	目的関数値
ケース①	10日	5日	1025900
ケース②	5日	5日	1053150
ケース③	5日	3日	1065150

表－4 現場、施設間の輸送量(ケース①)

	B1	B2	B3	R1	R2	F1	F2	T1	T2
A1	3040	550	0	1200	0	0	60	1050	400
A2	900	2000	500	350	2080	0	320	2100	0
A3	0	50	2350	460	0	500	0	0	1440
A4	0	750	3450	200	1080	120	0	0	0
R1	560	0	710	---	---	---	---	200	1500
R2	0	800	600	---	---	---	---	1000	1000
F1	---	---	---	460	160	---	0	---	---
F2	---	---	---	300	80	0	---	---	---
T1	0	0	2050	---	---	---	---	---	0
T2	0	1100	3240	---	---	---	---	0	---
Y	3300	0	0	---	---	---	---	---	---

表－5 現場、施設間の輸送量(ケース②)

	B1	B2	B3	R1	R2	F1	F2	T1	T2
A1	3040	300	0	1150	0	0	110	700	1000
A2	550	1650	850	400	2200	0	150	2450	0
A3	0	0	2000	910	50	0	0	0	1840
A4	0	550	3650	250	1150	0	0	0	0
R1	710	100	1210	---	---	---	---	150	800
R2	200	1600	1000	---	---	---	---	200	400
F1	---	---	---	---	---	---	0	---	---
F2	---	---	---	260	---	0	---	---	---
T1	0	0	1200	---	---	---	---	---	0
T2	0	1050	2990	---	---	---	---	0	---
Y	3300	---	---	---	---	---	---	---	---

表－6 現場、施設間の輸送量(ケース③)

	B1	B2	B3	R1	R2	F1	F2	T1	T2
A1	3040	130	0	1180	0	0	80	800	1070
A2	690	1980	850	340	2200	0	210	1760	220
A3	0	40	2000	320	40	600	0	0	1800
A4	0	630	3570	190	1120	90	0	0	0
R1	690	180	1150	---	---	---	---	380	570
R2	120	1080	600	---	---	---	---	1120	480
F1	---	---	---	690	---	---	0	---	---
F2	---	---	---	250	40	0	---	---	---
T1	0	0	1800	---	---	---	---	---	0
T2	0	1210	2930	---	---	---	---	0	---
Y	3260	---	---	---	---	---	---	---	---

ことがシステムの最適性と実際に建設残土を再利用する場合の実行可能性との間の不一致をもたらすことのないよう、十分に検討していく必要がある。

【参考文献】

- 1) 建設副産物リサイクル広報推進会議：総合的建設副産物対策、(財)先端建設技術センター、1995.
- 2) (財)先端建設技術センター：[改訂版]建設業とリサイクル、大成出版社、1992.
- 3) 本田淳裕、山田優：建設副産物・廃棄物のリサイクル、(財)省エネルギーセンター、1994.
- 4) 吉川和広：最新土木計画学、森北出版、1975.
- 5) 和田かおる、山本幸司：建設残土の再利用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, pp255~262, 1993.

表-7 計画期ごとの残土輸送量(ケース①)

計画期	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A1	B1 (640) R1 (160)	R1 (200) B1 (800)	B1 (800) R1 (200)	R1 (200) B1 (800)	T1 (800) R1 (200)	T1 (140) T2 (300) F2 (60) T1 (250) B2 (250)	B2 (300) T2 (100) R1 (100)	—	—	—	—	—
A2	—	—	—	T1 (100) R1 (100) B1 (900) R2 (400)	T1 (1000) R1 (100) R2 (400)	T1 (1000) F2 (100) R2 (400)	B2 (1000) R1 (50) R2 (390) F2 (60) R2 (290)	R1 (50) F2 (160) B2 (1000) R2 (200)	B3 (500) R1 (50) R2 (200)	—	—	—
A3	—	—	—	—	—	T2 (640) R1 (160)	T2 (800) F1 (200)	B2 (50) B3 (750) F1 (100) R1 (100)	R1 (100) B3 (800) F1 (100) R1 (100)	F1 (100) B3 (800) R1 (100)	—	—
A4	—	—	—	—	—	—	—	—	F1 (60) B2 (450) R2 (90)	R1 (50) B3 (1200) B2 (300) R2 (390)	R1 (100) B3 (1500) R2 (400)	B3 (750) R1 (50) R2 (200)
R1	B1 (60)	B1 (200)	B1 (200)	T1 (150) B1 (100)	T2 (300)	T2 (300)	T2 (300)	B3 (150) T2 (150)	B3 (150) T2 (150)	B3 (150) T2 (150)	B3 (150) T2 (150)	T1 (50) B3 (110)
R2	—	—	—	T1 (200)	T2 (400)	B2 (200) T2 (200)	B2 (200) T2 (200)	B2 (200) T2 (200)	B2 (200) T2 (200)	B3 (200) T1 (200)	B3 (200) T1 (200)	B3 (200) T1 (200)
F1	—	—	—	—	—	—	—	R2 (50) R1 (150)	R2 (100) R1 (150)	R2 (100) R1 (150)	R1 (160)	—
F2	—	—	—	—	—	—	R1 (150) R2 (10)	R2 (60) R1 (150)	R2 (10) R1 (150)	—	—	—
T1	—	—	—	—	T1 (450)	T1 (2250)	T1 (3500)	T1 (3500)	T1 (3300) B3 (200)	B3 (200) T1 (3300)	T1 (3300) B3 (200)	B3 (1450) T1 (2050)
T2	—	—	—	—	—	T2 (700)	T2 (2140)	T2 (3290) B2 (250)	B3 (1350) B2 (850) T2 (1440)	T2 (1140) B3 (450)	T2 (340) B3 (950)	B3 (490)
Y	B1 (1300) R1 (60) A1 (640) Y (1300)	B1 (1000) R1 (200) A1 (800) Y (1000)	B1 (1000) R1 (200) A1 (800) Y (1000)	—	—	—	—	—	—	—	—	—
B1	R1 (60) A1 (640) Y (1300)	R1 (200) A1 (800) Y (1000)	R1 (200) A1 (800) Y (1000)	A1 (800) A2 (900) R1 (100)	—	—	—	—	—	—	—	—
B2	—	—	—	—	—	R2 (200) A1 (250)	A1 (300) R2 (200) A2 (1000)	A3 (50) A2 (1000) T2 (250) R2 (200)	A4 (450) R2 (200) T2 (850)	A4 (300)	—	—
B3	—	—	—	—	—	—	—	R1 (150) A3 (750)	A2 (500) A3 (800) R2 (200) T2 (1350) T1 (200)	R1 (150) R2 (200) A4 (1500) T1 (200) T2 (950)	R1 (150) R2 (200) T1 (200) T2 (950)	A4 (750) T2 (490) T1 (1450) R2 (200) R1 (110)
R1	A1 (160)	A1 (200)	A1 (200)	A1 (200) A2 (100)	A2 (100) A1 (200)	A1 (140) A3 (160)	F2 (150) A1 (100) A2 (50) F1 (150)	A2 (50) A3 (100) F2 (150) F1 (150)	A3 (100) A2 (50) F2 (150) F1 (150)	A4 (50) A3 (100) F1 (150)	A4 (100) F1 (160)	A4 (50)
R2	—	—	—	A2 (400)	A2 (400)	A2 (400)	F2 (10) A2 (390)	F1 (50) F2 (60) A2 (290)	F2 (10) F1 (100) A2 (200) A4 (90)	F1 (10) A4 (390)	A4 (400)	A4 (200)
F1	—	—	—	—	—	—	A3 (200)	A3 (100)	A4 (60) A3 (100)	A3 (100) A4 (60)	—	—
F2	—	—	—	—	—	A2 (100) A1 (60)	A2 (60)	A2 (160)	—	—	—	—
T1	—	—	—	A2 (100) R1 (150) R2 (200)	A1 (800) A2 (1000) T1 (450)	T1 (2250) A2 (1000) A1 (250)	T1 (3500)	T1 (3500)	T1 (3300) R2 (200)	R2 (200) T1 (3300)	T1 (3300) R2 (200)	R1 (50) R2 (200) T1 (2050)
T2	—	—	—	—	R2 (400) R1 (300)	R1 (300) A1 (300) A3 (640) R2 (200) T2 (700)	A1 (100) A3 (800) R1 (300) T2 (2140) R2 (200)	R1 (150) T2 (3290) R2 (200)	T2 (1440) R1 (150)	R1 (150) T2 (1140)	T2 (340) R1 (150)	—

- 6) Wada, Yamamoto : A computer algorithm for comprehensive recycle planning of surplus soil, Proc. of 6th ICCCB, pp1537-1544, 1995
- 7) 吉川和広：土木計画学演習、森北出版、1985.

Study on development of recycle plan system for surplus soil

A management of surplus soil come out from construction works in urban area becomes a serious social problem to be settled. So after this, effective use of surplus soil must be examined because some of them can be recycled as refill material after chemical treatment. However, distribution of surplus soil for recycle is more complicated than general soil distribution within earth work sites. This paper proposes a comprehensive recycle planning system of surplus soil including cutting sites, banking sites, treatment centers and stockyards, and make it clear that an optimal plan to minimize total recycle cost can be obtained by Linear Programming.