

## 道路占用工事における残土処理計画

Planning Process for Soil Recycling in Construction Works  
of Underground Pipes

見波 潔<sup>\*</sup> ・ 嶋津晃臣<sup>\*\*</sup> ・ 下坪賢一<sup>\*\*\*</sup>

By Kiyoshi MINAMI, Akiomi SHIMAZU and Ken'ichi SHIMOTSUBO

The excavated soil should be used effectively as the resource for public works especially in urban area. This paper discusses a planning process for soil recycling. In the recycling system, the soil, which is excavated in construction works of underground pipes, is improved at the plant and used for back filling. The authors approach this problem from the economical aspect. The planning process consists of two steps. In the first step, the feasibility of introduction of soil improvement system is investigated. Then, the proper site and scale of plants are discussed in the second step.

### 1. はじめに

近年、都市部の建設工事では膨大な量の掘削が行われている。掘削土の多くは残土（場外搬出される土）として臨海部の埋立て地や内陸処分地、土地造成地等で処分されているが、最近では埋立て計画が減少したり、環境問題等のために内陸処分地の確保が困難になっている。このため、残土処理は建設事業遂行上の大きな問題となってきた。

残土処理問題に対処するためには、掘削土量を極力少なくするよう個々の工事の計画・設計の段階で配慮することが必要であることはいまでもないが、掘削した土については埋戻しや盛土の材料として積

極的に利用することが望まれる。そこで、残土処理問題を「残土の処分」としてではなく、「残土の有効利用」という観点でとらえることが必要と考える。このような残土の有効利用問題を考えるとき、「どのような土であれば埋戻しや盛土材料として利用可能か」という土質工学の面での検討と同時に、より効率的な有効利用を行うための合理的な残土処理計画の立案が従前にも増して重要となる。

本稿では、土木工事の中でも道路占用工事（各種埋設管敷設工事）を対象を限定し、掘削土を埋戻し土として有効利用することを前提とした残土処理計画の方法論について述べる。

### 2. 道路占用工事における残土処理問題

ここで取り上げる道路占用工事は、地表面下数m程度までを掘削し（オープンカット）、各種の埋設管（上下水道、ガス、電力、電話など）を設置した後、土を埋戻す工事である。従来、この種の工事では

\* 正会員 工修 建設省土木研究所施工研究室

\*\* 正会員 工修 建設省土木研究所施工研究室長

\*\*\* 建設省土木研究所施工研究室

(〒305 茨城県筑波郡豊里町大字旭1)

「掘削土は場外搬出物として処分し、必要な埋戻し土は山砂等の購入土を充てる」という、いわゆる土砂置換工法が多く採用されている。しかし、近年になって都市部では適当な処分地を確保することが難しくなりつつあり、一方では良質な埋戻し材の枯渇や土取場の遠隔化が進んでおり、その結果として土砂置換工法は経済性の面で必ずしも最適な工法とはいえなくなっている。そこで、掘削土を埋戻し土として再利用すれば、残土発生量の低減、山砂資源の保護、土砂運搬距離の短縮などを図ることが可能となり、道路占用工事にかかわる土砂処分調達費の節減が期待される。

本研究で特に道路占用工事のみを対象にした理由は以下のとおりである。

- ① 道路占用工事から排出される残土量は、土木工事全体での残土発生総量の相当部分を占めている。<sup>1)</sup>

- ② 道路占用工事では掘削と埋戻しが行われるため、土質条件や経済性の条件が満足されれば、他工種との土のやりとりがなくともかなりの量の有効利用が可能である。

現在、道路占用工事における埋戻し材料は建設省、日本道路公団、各地方自治体の道路管理者によって規定されており、「砂または同等品以上」あるいは「砂・切込砂利・良質土等」といった表現が多い。これらの規定では、砂ばかりでなく掘削土のうちの良質土の使用を認めているものの、良質土の規定が明確でない事例が多い。ところが、我が国の都市部の地盤では掘削土の多くは埋戻し土として利用可能な良質土ではないため、現状では上述したような土砂置換工法が主体となっている。したがって、掘削土を埋戻し

に用いる場合には土質改良（セメント、石灰等を添加、混合する）が必要となることが多い。このようなことから、本研究では道路占用工事における残土処理計画を土質改良施設の計画としてとらえることとした。すなわち、対象地域内で発生する掘削土を有効利用することを目的として、土質改良プラントの適正な規模、配置などを検討する問題を考えることにした。

### 3. 残土処理計画立案の基本方針

#### (1) 評価尺度

本研究では、掘削土を土質改良し、埋戻し土として再利用する場合の計画代替案を関連費用の総和【（土質改良費）+（土砂運搬費）+（山砂購入費）+（捨土処分費）】で評価することにした。以下ではこれを土砂処分調達費とよぶ。

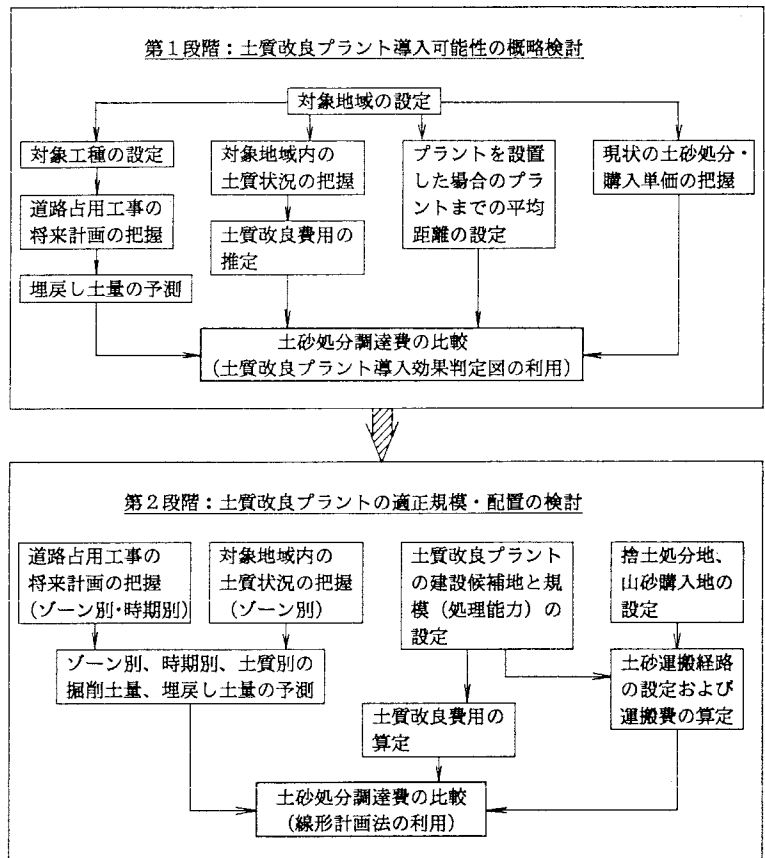


図-1 残土処理計画のプロセス

## (2) 計画プロセス

本研究では残土処理計画を次の2つの段階に分けて考えることにした。まず第1段階では、ある地域内の道路占用工事を対象としてマクロ的な土量予測を行い、埋戻し土として改良土を用いるために土質改良プラントを設けることが経済的に有利か否かを概略的に判定する。次に第2段階では、掘削土量や埋戻し土量に関する詳細な将来予測値に基づいて土質改良プラントの適正な規模、配置の検討を行う。

図-1は残土処理計画のプロセスを示したものであり、それぞれの計画段階において土砂処分調達費を比較検討するのに必要な入力情報を整理している。

## (3) 掘削土の再利用条件

掘削土を埋戻し土として再利用できる条件は次の2条件である。

- ① 埋戻し土に必要な土質工学的性質（強度、圧縮性など）を有すること。
- ② 「掘削—運搬—土質改良—運搬—埋戻し」の工程が個々の道路占用工事の工程と合致していること。

これらの条件に関して本研究では以下のような取扱いをしている。

**条件①について：**土質改良しなくてもそのまま埋戻し土として利用可能な土（良質な砂）や、埋戻し土として利用可能となるように土質改良することが不可能または経済的に明らかに不利な土（たとえば高含水比粘性土）についてはあらかじめ検討対象から除外し、土質改良することによって利用可能となる土（含水比が高くない粘性土、ロームなど）のみのデータを用いる。

**条件②について：**本研究のような施設計画のレベルでは多くの工事を包括的に扱うのが実際のであり、工事単位での条件までは考慮する必要がないと判断した。そして、掘削土量や埋戻し土量についてゾーン単位で時期変動を考慮することにした（計画プロセスの第2段階）。なお、さらに詳細な「残土の運用計画」のレベルでは本条件が不可欠である。

## 4. 土質改良プラント導入可能性の概略検討

本検討は、ある地域の道路占用工事を対象としたときに、掘削土を土質改良して埋戻し土として用い

るために土質改良プラントを設けることが経済的に有利か否かを判定するもので、本研究ではそのための判定図を作成することにした。これによって、現状の土砂処分・購入単価（円/㎡）、対象地域内の埋戻し土量（㎡/年）、プラントを設置した場合に想定されるプラントまでの平均距離（km）のデータを用いて図上で経済的效果の判定を行うことができる。

## (1) 土質改良プラント導入効果判定図の作成

ある地域に土質改良プラントを設けた場合に経済的效果が見込まれるためには、次の不等式が成立つ必要がある。

$$\begin{aligned} & (\text{プラントを設けた場合の土砂処分調達費}) \leq \\ & (\text{従来工法での土砂処分調達費}) \cdots \cdots (1) \end{aligned}$$

これを記号で表すと以下のようになる。

$$\begin{aligned} V & \leq P \quad \text{のとき} \\ V \cdot \{Cu(d) + Cp\} + K & \leq V \cdot \{Cin + Cout\} \cdots \cdots (2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V & > P \quad \text{のとき} \\ P \cdot \{Cu(d') + Cp\} + K & \leq P \cdot \{Cin + Cout\} \cdots \cdots (3) \end{aligned}$$

ここに、V：埋戻し土量（㎡/年）

P：プラントの処理能力（㎡/年）

Cin：山砂購入単価（円/㎡）

Cout：捨土処分単価（円/㎡）（運搬費と処分費の和）

Cp：土質改良単価（円/㎡）（固定費を除く）

K：プラントの固定費（円/年）（償却費、地代、諸経費など）

Cu(d)：片道運搬距離がdのときの往復運搬単価（円/㎡）

d：対象地域内の各地点からプラントまでの平均距離（km）

である。なお、 $V > P$  の場合にはプラントに近い工事の掘削土がPだけ改良されるものとし、土量比と面積比の関係を仮定することによってプラントまでの平均運搬距離 $d'$ を次式で求めることにした。

$$(d'/d)^2 = P/V \cdots \cdots (4)$$

費用係数のうち Cp と K はプラントの規模によって異なる。ここでは、プラントの処理能力 P（㎡/年）をパラメータとして土質改良単価  $Cp + K/P$ （円/㎡）を試算した結果を図-2に示す。図から、大量処理によるコスト低減がかなり期待できることがわかる。

なお、試算条件による結果の差異は、

- ① 想定する土質によってセメント等の改良材の添加量がかかなり異なること、
- ② 固定費に占める地代の比率が高く、その評価方法が改良単価に与える影響が大きいこと、

が原因となっている。そこで、以下に示すプラント導入効果判定図では  $C_p$  および  $K$  の値に幅を持たせるものとし、上限値、下限値にはそれぞれ試算条件①④の結果を用いることにした。

図-3は  $P(=7.4, 14.8, 29.6 \text{ 万 m}^3/\text{年})$  および  $d(=5, 15 \text{ km})$  をパラメータとして作成したプラント導入効果判定図である。図はプラント導入による経済的効果の有無の境界線を表しており、境界線より上方では式(2)(3)が成立つことを示している。なお、境界線が帯状になっているのは、上述したように  $C_p$  と  $K$  に上限値と下限値(表-1に示す)を設定して計算したためである。

図-3から次のことがいえる。

- ① 境界線は右下がりとなっており、埋戻し土量が多いほどプラント導入による経済的効果がある可能性が高くなる。また、埋戻し土量が  $10 \text{ 万 m}^3/\text{年}$  程度以下では現状の土砂処分・購入単価がよほど高くない限りは導入効果が得られる可能性が小さい。
- ② 現状の土砂処分・購入単価が  $4,000 \text{ 円/m}^3$  程度以下であれば、埋戻し土量が多くてもプラント導入による経済的効果が得られる可能性は少ない。
- ③ プラントまでの平均距離が長くなるほど境界線は上方にシフトする。すなわち、等しい埋戻し土量であっても対象地域が広く、工事密度が低い場合にはプラント導入による経済的効果が得にくくなる。
- ④ 埋戻し土量が多くなると大規模なプラントを設定するほうが経済的効果が得られる可能性が大きくなる。

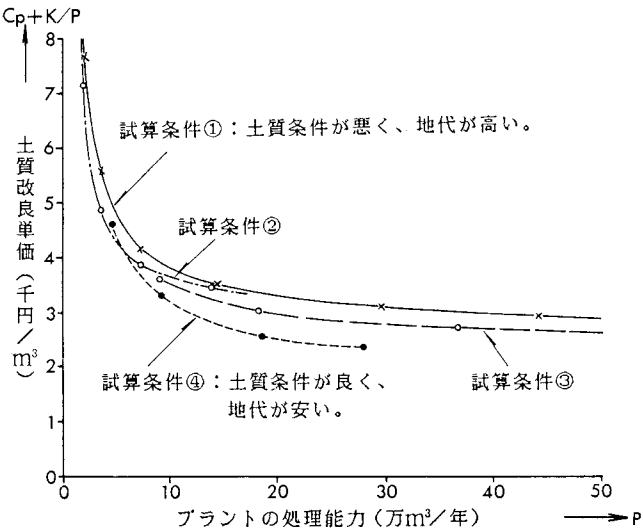


図-2 プラントの処理能力別の土質改良単価

表-1 費用係数  $C_p$ 、 $K$  の設定値

| プラントの処理能力 $P$ (万 $\text{m}^3/\text{年}$ ) | 7.4    | 14.8   | 29.6   |
|------------------------------------------|--------|--------|--------|
| 上限値                                      |        |        |        |
| 改良単価 $C_p$ (円/ $\text{m}^3$ )            | 1,810  | 1,810  | 1,810  |
| 固定費 $K$ (万円/年)                           | 19,100 | 28,700 | 47,500 |
| 下限値                                      |        |        |        |
| 改良単価 $C_p$ (円/ $\text{m}^3$ )            | 1,640  | 1,640  | 1,640  |
| 固定費 $K$ (万円/年)                           | 14,900 | 17,000 | 21,000 |

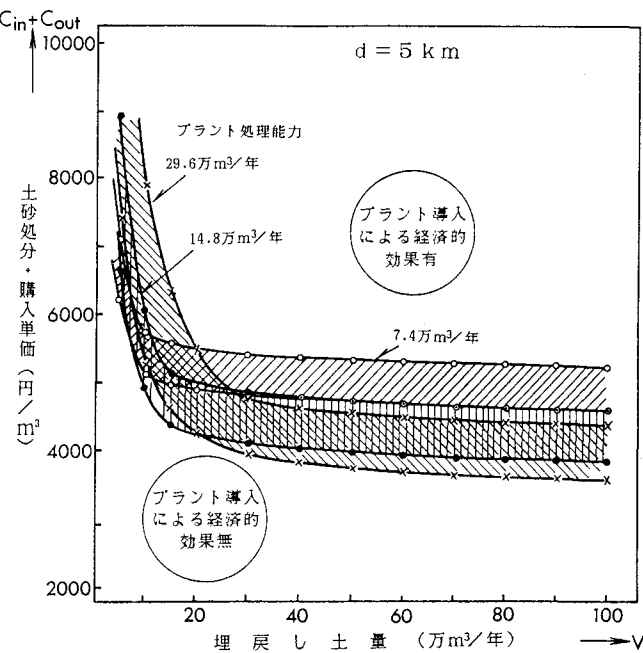


図-3 (a) プラント導入効果判定図  
(プラントまでの平均距離が  $5 \text{ km}$  の場合)

## (2) 判定図の適用例

A, B, Cの3都市を対象にして、道路占用工事の将来計画に基づく年間埋戻し土量の推定および土砂処分・購入単価の調査を行った。その結果を表-2に示す。このデータを図-3にプロットすることによって、各都市で土質改良プラントを導入することが経済的に有利か否かの検討を行ってみる。

**A市の場合：**境界線上にプロットされている。この結果から導入効果の有無を断定することはできないが、さらに詳細な調査・検討（本研究でいう第2段階）へと進む価値があると考えられる。

**B市の場合：**境界線の下側にプロットされている。これは、捨土処分地や山砂購入地が比較的近くに存在しており、土砂処分・購入単価が安いのである。したがって、将来的に捨土処分地や山砂購

入地が安定して確保されるようであれば、土質改良プラントの導入は不経済になる可能性がある。

**C市の場合：**境界線の下側にプロットされている。

しかし、この都市では土砂処分・購入単価が比較的高いため、本事例のようにガス工事だけを対象にするのではなく、上下水道などの他工種をも対象に含めて検討すればプラントの導入効果が生じる可能性がある。

## 5. 土質改良プラントの適正規模・配置の検討

本検討は、図-1に示した計画プロセスの第2段階に相当するもので、対象地域内の工事量（すなわち、掘削土量、埋戻し土量）の予測に基づいて土質改良プラントの規模・配置について検討するものである。本稿では土量予測の方法については触れず、

予測値に基づいた検討の方法と若干のケーススタディについて述べる。

## (1) 検討方法

## 1) 土量に関するデータ

4章では対象地域内の土量をマクロ的にとらえていたが、本検討ではもう少し詳細なデータに基づく必要がある。これは、プラントの規模・配置の決定には道路占用工事の地理的分布や時期的分布が重要な要因になると考えられるためである。その際、工事場所や工事時期の情報を工事単位で扱うと膨大なデータ量になることが予想され、また、工事に関する情報の精度だけを高くしても全体の精度と必ずしも整合しない。このようなことから、工事の地理的分布についてはゾーン単位で、また工事時期については一ヶ月あるいは四半期といった程度の精度で扱うのが現実的な対処方法であると考ええる。

## 2) 代替案の作成

プラントの規模・配置が計画上の操作変数となるが、あらゆる可能性の全てについて検討することになると自由度が大き過ぎ、実際上検討が不可能となる。そこで、プラントの位置については何らかの外的条件（土地の取得可

表-2 プラント導入効果判定のためのデータ

| 対象地域<br>(都市名) | 道路占用<br>工事の種類 | 埋戻し土量<br>V(万m <sup>3</sup> /年) | プラントまでの<br>平均距離d(km) | 土砂処分・購入単価(円/m <sup>3</sup> ) |       |
|---------------|---------------|--------------------------------|----------------------|------------------------------|-------|
|               |               |                                |                      | Cin                          | Cout  |
| A市            | 上下水道          | 75                             | 15~17                | 2,400                        | 2,800 |
| B市            | 上下水道          | 32                             | 13~15                | 2,300                        | 2,100 |
| C市            | ガス            | 20                             | 13~15                | 2,500                        | 3,000 |

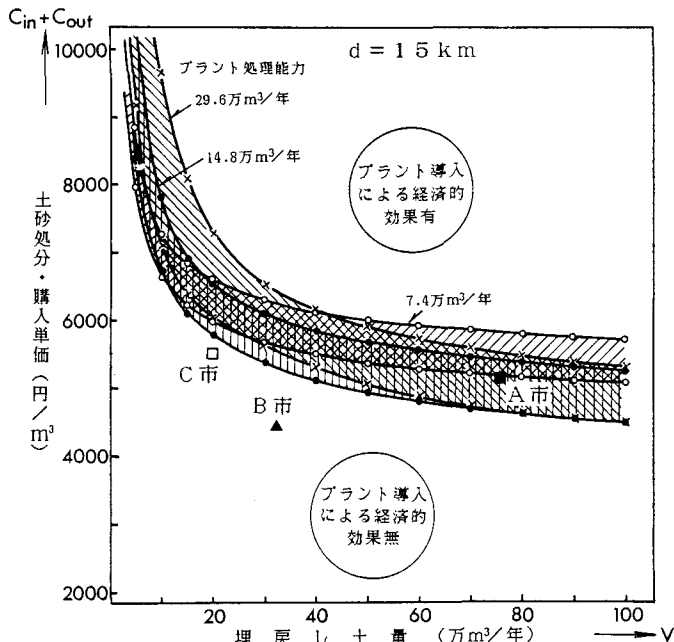


図-3 (b) プラント導入効果判定図  
(プラントまでの平均距離が15 kmの場合)

能性、土砂運搬道路の状況など）によって建設候補地が既にある程度絞られていることを前提として検討するのが妥当と考える。

### 3) 土砂処分調達費の算出

本研究では、2章に述べたように土砂処分調達費を代替案の評価尺度とすることを基本方針としている。プラントの規模・配置に関する代替案を設定したとき、その条件のもとで最も効率的な土の再利用、処理が行われるものと仮定すると、土砂処分調達費の最小化を目的関数とする線形計画モデルを適用することによって各代替案の土砂処分調達費を算出することができる。

#### (2) ケーススタディ

ケーススタディの対象として面積約 430km<sup>2</sup>のA市を取上げた。4章で検討したように、A市では上下水道工事だけを対象にしてもプラントの導入効果が得られる可能性がある。そこで、以下では上下水道工事の他にガス、電話、電力、共同溝工事を含めて検討を行うことにした。対象地域を14のゾーンに分け、年間の掘削土量と埋戻し土量を予測した結果を図-4に示す。図からわかるように、対象地域の周辺部で工事の多いことが予測されている。また、これまでの実績から道路占用工事は年度の後半に工事量が増加することが知られているため、ここでは計画対象期間(1年)を3ヶ月単位に分割し、四半期ごとの土量を予測して以下の計算に用いることにした。

A市では残土を捨土処分する場合は指定処分とすることが多く、この事例においても図に示す3箇所の捨土処分地を設定した。なお、山砂購入地については特定しなかった。

土砂処分調達費の最小化を目的関数とする線形計画モデルを適用する際の変数は次のとおりである。

$X_{ip}(t)$  : 時期  $t$  にゾーン  $i$  からプラント  $p$  へ運搬する掘削土量 (m<sup>3</sup>)

$Y_{pi}(t)$  : 時期  $t$  にプラント  $p$  からゾーン  $i$  へ運搬する埋戻し土量 (m<sup>3</sup>)

$Z_{ij}(t)$  : 時期  $t$  にゾーン  $i$  から捨土処分地  $j$  へ運搬する捨土量 (m<sup>3</sup>)

( $t=1\cdots4, i=1\cdots14, j=1\cdots3, p=1\cdots4$ )

制約条件は、各ゾーンでの土量条件および各プラントの処理能力である。なお、運搬距離の算出にあたっては各ゾーンの重心点を用いることにした。

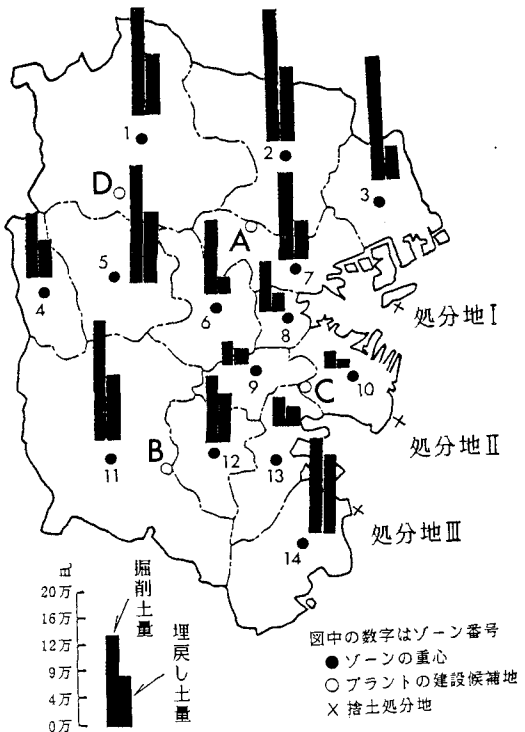


図-4 A市における掘削土量、埋戻し土量の分布

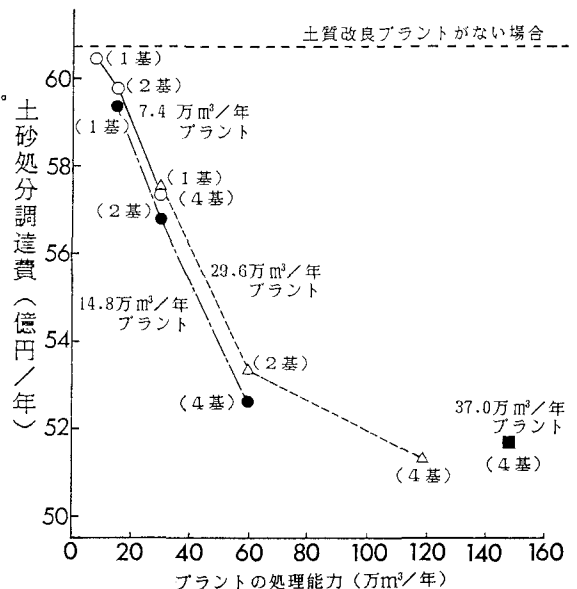


図-5 プラントの処理能力別の土砂処分調達費

プラントの建設候補地として図-4中に示すA～Dを設定し、プラントを1基設ける場合にはA地点、2基設ける場合にはA地点とB地点、4基設ける場合にはA～D地点を想定することにした。また、プラント1基当りの処理能力として7.4, 14.8, 29.6, 37.0 (万 $\text{m}^3$ /年)の4通りを設定した。

以上の条件のもとでの試算結果を図-5に示す。図の横軸は対象地域内でのプラントの処理能力の合計を示している。図から次のようなことがわかる。

- ① プラントの処理能力が増えるにつれて土砂処分調達費は減少し、土質改良プラントが無い場合に比べるとかなりの経済的効果を期待できる。
- ② 処理能力が大き過ぎるとプラントの施設費が高くなり、土砂処分調達費の低減にはつながらない恐れがある。
- ③ 処理能力の合計を等しく設定したとき、プラントを1基とする場合と2または4基に分散させる場合とでは大きな差は認められない。大規模をプラントを1基設ける場合には図-2に示したようなスケールメリットを期待することができるが、プラントと工事現場間の運搬費はかえて増えるためである。一方、分散型の配置にすると土砂運搬費をかなり低減させることができる。

以上に示したような検討を経ることによって土質改良プラントの適正規模・配置に関する有益な情報を得ることができる。

## 6. おわりに

本稿では、道路占用工事を対象にした残土処理計画の方法論について述べた。道路占用工事では掘削土を土質改良して埋戻し土として再利用することが残土処理対策上の有効な手段となることから、本研究では土質改良施設の計画という観点から問題をとらえた。

本研究では土質改良プラントの施設費、土砂運搬費、捨土処分費、山砂購入費などの費用をベースとした評価を行っており、経済性の側面からの検討しか行っていない。残土処理問題が今後一層ひっ迫したのになると、掘削土の有効利用による山砂資源の保護や捨土処分地の延命化といった効果がこれまで以上に重要視されるようになろう。今後はこのよ

うな観点からの評価をも含めて研究を発展させたいと考えている。

また、残土の有効利用を一層推進するために、土質改良に関するハードな技術の研究成果<sup>3)</sup>を取込むとともに、情報システムのあり方<sup>4)</sup>について検討を加え、総合的な残土処理システム<sup>4)</sup>の構築に向けての研究が必要と考える。

最後に本研究を遂行するにあたり貴重な御意見を頂いた建設省総合技術開発プロジェクト「建設事業への廃棄物利用技術の開発」委員会および地盤・盛土分科会のメンバーの方々に感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 新藤範義：建設残土処理対策の課題—首都圏における処理実態と将来展望—、土木学会関東支部講習会「建設廃棄物に関する問題」、pp.23～35、1985。
- 2) 見波潔・嶋津晃臣・下坪賢一：建設工事における残土の利用計画手法に関する考察、土木学会第40回年次学術講演会講演概要集第4部、IV-89、pp.177～178、1985。
- 3) 久米勝行：建設産業廃棄物の有効利用、土木学会関東支部講習会「建設廃棄物に関する問題」、pp.59～97、1985。
- 4) 三浦裕二・榎沢芳雄：残土処理システムの運用管理について、第15回日本道路会議特定課題論文集、pp.136～138、日本道路協会、1983。