

大規模土取工事における地形設計の方法に関する研究

A Study on Layout Design Method of Land Development with Large-Scale Earth Borrowing

立命館大学 正員 春名 攻*
立命館大学大学院 学生員 ○寺田 岳彦**

By Mamoru HARUNA and Takehiko TERADA

近年我が国においては、臨海部の高度な土地利用を目指した埋立地造成プロジェクトが数多く計画・実施されている。これらのプロジェクトは、従来のものと比べ、大規模化の傾向を有している。これは臨海部埋立地に対する我が国の社会・経済のニーズや、施工技術のめざましい進展・発展によるところが大きく、このような大規模な臨海部埋立地造成工事の要請は、今後一層強くなるものと考えられる。さらに、埋立地造成プロジェクトには、周辺地域の山間部土砂採取が含まれ、これは工事特性の1つである。

本研究においては、企画・構想段階におけるこの土砂採取事業に着目し、ある市町村が土砂採取の候補地としてあげられた場合に、計画地形を先取的に検討することで、跡地利用計画案の策定に対して、支援情報と成り得ると考え、計画地形設計の方法論の構築を研究対象とした。ここでは、コンピュータ・グラフィックスを活用することで、急峻かつ複雑な山間部の地形を3次元的に把握するよう努めるとともに、その方法論の実証的検討をおこなったものである。

【キーワード】大規模土取工事、地形設計、プロジェクトプランニング

1. はじめに

都市部やその周辺地域での新たな開発対象地が皆無となった今日においては、都市中枢機能の集中による人口過密、住宅不足など都市部の抱える問題は益々大きなものとなっている。我が国は「四面を海に囲まれ屈曲に富む長大な海岸線を有する」という地理的特性をもつことから、近年、この解決方策として、この地形特性を活かした、地理的に有利な位置の埋立工事が盛んにおこなわれている。関西におけるその代表例としては、神戸ポートアイランド建設事業や六甲アイランド建設事業、さらに、最近おこなわれた関西国際空港建設事業などがあげられるが、これらの埋立地造成プロジェクトの規模は、大規模化・大型化の傾向を強めている。これに伴い、埋立本体工事に付随する埋立用土砂の採取工事に関しても、大規模化の傾向を有している。この土砂採

取工事は、埋立本体工事の周辺地域に存在する山間部から、埋立に必要な土質・地質の土量を掘削し、土運船への積み込み桟橋まで土砂搬出をおこなうものである。したがって、土砂採取のみに着目したかたちで概略施工計画の策定をおこなうと、跡地利用不可能な計画となる場合が存在する。また、一般的な土地造成と異なり、盛土部分がほとんど存在せず、ほぼ切土部分のみとなるという特徴を有している。

本研究においては、今後拡大する傾向にある大規模埋立地造成工事における土砂採取工事に着目し、企画・構想段階において、これを先取的に考慮した効果的な土砂採取計画案（計画地形の設計案）を策定するための方法論を構築するとともに、その評価に用いるため、土質条件や地形条件等を考慮した概略施工計画案の策定およびそれに伴う投入機械費用の算定システムの構築をおこなった。

2. 建設事業における本研究の位置づけ

建設事業の実施課程は、図-1に示すように1つのプロセスとして整理することができる。この図で

* 理工学部 環境社会工学科 教授
[TEL・FAX (0775)-61-2736]

** 理工学研究科 環境社会学専攻
[同上]

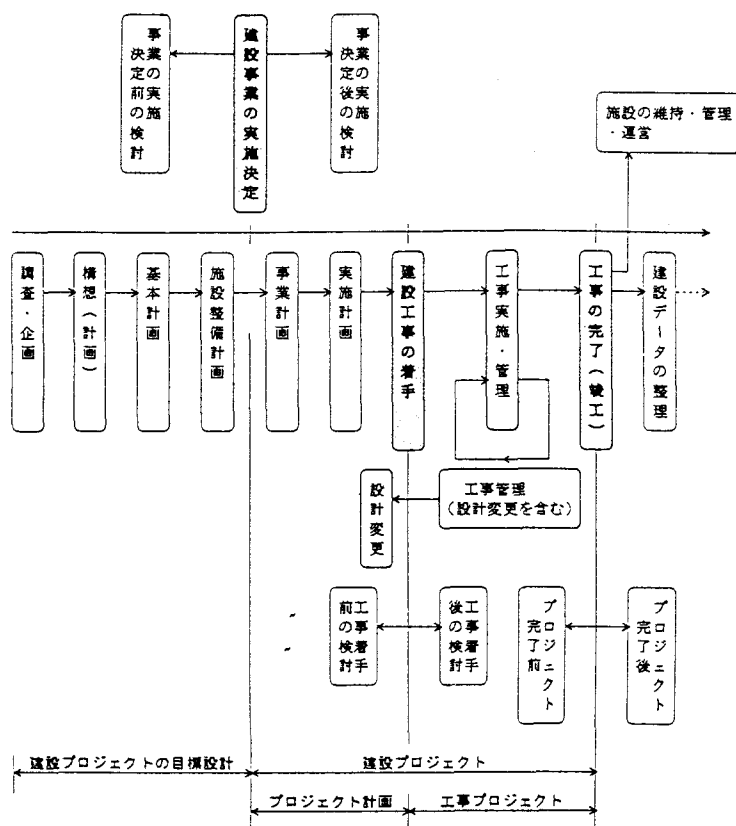


図-1 建設事業のトータルプロセス

は、建設事業の実施決定・建設工事の着手・工事の完了、といった3つの重要な区切りとなる時点と、それらによって区別される建設工事プロジェクトの企画・設計、プロジェクトの事業計画・実施計画、工事プロジェクトの実施・管理、施設構造物の維持・管理といった4つのフェイズを示している。建設業務はこれらの機能的な作業分類ごとにまとめておこなわれることから、マネジメントにおける方法論の構築に関しても、これと対応させて実施する必要性が存在する。

本研究においては、「建設工事プロジェクトの企画・設計」のフェイズに着目し、特に、基本計画の前段階、つまり、企画・構想段階における土砂採取工事プロジェクトを、先取りのな検討として取り入れる方法に関して研究を進めた。したがって、建設工事の実実施計画レベルと同等な具体性は必要ではないと考えるが、先取りのな検討をおこなうために、概略レベルの把握は必要であると考えた。特に、評価項目に関して大きく影響を及ぼすと考えられるものに関しては、出来る限り把握をおこない、評価に

取り入れていく必要があると考えた。

3. 大規模土砂採取工事の特性に関する考察

本研究グループではこれまで、一般的な山間部大規模土地開発を対象に、その計画策定プロセスを整理し、地形的特徴が計画策定に対して大きな影響を与えるものとして、土地造成工事を先取りのな検討した開発適地選定作業・地形設計作業・概略施工計画策定作業に関して研究を進めてきた。そこでここでは、一般的な大規模土地造成工事と大規模土砂採取工事の計画策定プロセスにおける違いを述べるとともに、土砂採取工事の特性に関して考察をおこなうこととする（表-1参照）。

（1）適地選定作業の段階における違い

適地選定作業とは、対象地域において、与えられた与件を十分満足するかたちで、どの地区を開発対象地域にするかということを決

表-1 一般土地造成工事と土砂採取工事の主な違い

作業	一般土地造成工事	土砂採取工事
適地選定作業	- 必要開発面積が与件として与えられている - 開発対象地が市町村内においてある程度絞り込まれている - 総土工量を用いることにより適地選定の評価をおこなう	- 必要採取土量を確保することが大前提である - 積み込み桟橋の位置がある程度絞り込まれており、与件として与えられている - 積み込み桟橋に関する仕事量を用いることにより適地選定の評価をおこなう
地形設計作業	- 必要開発面積が与件として与えられている - 切土量と盛土量のバランスや総土工量、さらに、総移動距離等を用いることにより地形設計の評価をおこなう	- 必要採取土量を確保することが大前提である - 積み込み桟橋に関する仕事量を用いることにより計画地形代替案の作成のための評価をおこなう
投入機械費用算定作業	- 複数個の切土ブロックと盛土ブロックに分割している - ブロック間の仕事量最小化を目的関数として運土計画を策定する - 投入機械は掘削・積込・運搬・敷均にかかわる機械のみである	- ほぼ切土ブロックのみである - 土砂搬出計画が与件として与えられている - 敷均にかかわる投入機械は存在しないが、クラッシャーを含む投入口・積み込み桟橋までのメインベルトコンベア・投入口からストックヤードまでの場内ベルトコンベア等の設備が存在する

するための作業段階である。

一般的な土地造成工事の適地選定作業においては、その与件として、必要開発面積が存在し、そのため、その面積を確保することにウェイトをおいたかたちで適地選定作業をおこなう。また、必要開発面積が存在するという事は、その地域に必要な機能やそれに関する規模に関しては、与件として存在し、地域選定に関する絞り込みは、対象市町村内において、ある程度この段階までにおこなわれているものと考えられる。さらに、土地造成工事を先取的に検討しているため、切土量と盛土量のバランスに関しては、十分検討しているものとする。

土砂採取工事に関しては、開発可能面積が与件として与えられているわけではなく、採取土量の確保にウェイトをおいたかたちで検討する必要がある。すなわち、与えられた土質・地質の土量が採取可能であるということが、土砂採取工事における検討段階に関して、必要十分条件であると考えられる。また、上述したような一般的な土地造成工事とは異なり、土砂採取対象市町村が決定された段階から検討をおこなうため、その市町村内において、最適な候補地を選定する必要がある。さらに、必要開発面積が与件として存在しないため、縦方向と横方向という作業領域に関する情報量がこれまで以上に膨大となり、これまで本研究グループがおこなってきたシステム論では取り扱いが不可能であると考えた。なお、本研究グループがこれまで研究してきた成果として述べるができる「仕事量が少ないことが工事費を削減することにつながる」という考え方に関しては、本研究に関しても用いることとした。すなわち、積み込み桟橋の位置が決定されている場合に関して、その位置から遠方に存在する候補地から土砂採取をおこなうことよりも、その桟橋から近距離に存在する候補地から採取することが工事費においても削減することが可能ではないかと考えた。

(2) 地形設計作業の段階における違い

地形設計作業とは、その前段階において選定された候補地のみに着目し、計画地形の代替案を作成する段階である。

一般的な土地造成工事において、最も重要な条件としては、切土量と盛土量のバランスに関するもの

が存在し、出来る限りこのバランスを良くする、すなわち、切土量が盛土量とイコールに近い状態であることを目標関数の一部としていることが特徴である。これにより、造成可能であるか否かを判断するとともに、土捨て量や、また、他からの必要土量により開発可能であるか否かを判断することとなる。

土砂採取工事に関しては、先述と同様に、採取土量の確保というものが大前提として存在するため、これが、必要十分条件として存在することとなる。さらに、一般的な土地造成工事とは異なり、切土量と盛土量のバランスというものが存在せず、主に、切土量のみで構成される計画地形設計と成り得る。すなわち、土砂採取にウェイトをおいた開発であるため、その採取土量を確保できることが必要であり、そのため、切土地域がほとんど、または、全てを占める状態となる開発に成り得る。これは、地形設計作業に関しては、土砂採取事業の特徴的な部分と考えられる。

(3) 概略施工計画策定作業の段階における違い

概略施工計画策定作業とは、前段階において作成した地形設計の代替案に関して、工事費用の面から検討するために、投入機械等による工事費用を算出することを目的とした作業段階である。

本研究グループがこれまで対象としてきた一般的な土地造成工事に関しては、現地形と計画地形に関するデータベースから、切土ブロックと盛土ブロックに分割し、さらに、それぞれのブロックを複数個に分け、仕事量最小（ $[\text{仕事量}] = [\text{運土量}] \times [\text{運土距離}]$ ）という目的関数を用いて求めたブロック間の運土計画をまず最初に策定する。そして、策定した運土計画にもとづいて施工順序を設定し、さらに、運土ルートを考慮したかたちで、掘削・積込・運搬・敷均にかかわる投入機械を設定し、その台数を算定する。

土砂採取工事に関しては、その工事特性から、一般的な土地造成工事には存在しない設備、すなわち、クラッシャーを含む投入口・メインおよび場内ベルトコンベア等が必要不可欠なものとなっている。また、一般的な土地造成工事における掘削・積込・運搬と同様の作業は、投入口への運搬作業までにとどまり、その後の運搬作業に関しては、ベルトコンベ

アによっておこなわれる。したがって、投入口への運搬作業までにかかわる投入機械台数の算定に関しては、これまで本研究グループがおこなってきた考え方をを用いることが可能であると考えた。詳細に関しては、次節において述べることとする。

4. 地形設計のための方法論の構築

前節において論述したように、本研究においては、これまで本研究グループがおこなってきた一般的な土地造成工事と同様なステップを踏むことにより地形設計の方法論を構築することとした（図－2 参照）。

すなわち、まず、対象市町村内における区域の絞り込みをおこなうため、土砂採取区域の選定作業をおこなう。つぎに、その土砂採取区域において、計画地形代替案を作成するための計画地形設計作業をおこなう。さらに、その各代替案の評価に用いる概略施工費用を算出するために、投入機械費用算定作業をおこなう。そして、この算出された費用を用いて各代替案の評価をおこない、最適な計画地形代替案の選定をおこなうこととした。

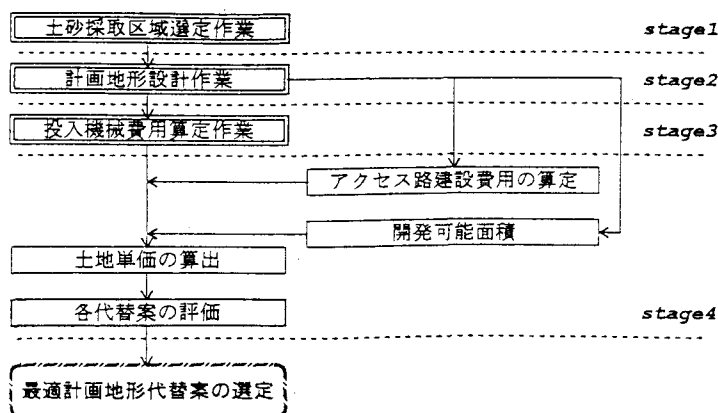
また、各作業段階における評価内容は以下のとおりである。すなわち、

①土砂採取区域選定作業

- ・対象市町村において、1区域または複数区域によって、要求される土質・地質の採取土量の確保が可能であるか
- ・その地域と積み込み桟橋の位置による仕事量は最小であるか

②計画地形設計作業

- ・設定した計画地形高は、採取土量の確保が可能



図－2 本研究の全体フロー

であるか

- ・法面高は制約値以内となっているか
- ・景観を大きく損なう計画地形となっていないか
- ・仕事量があまりにも大きくなるような計画地形となっていないか

③概略投入機械費用算定作業

- ・盛土部分が存在するか
- ・概略費用が大きくなるような投入機械代替案となっていないか

なお、詳細に関しては、以下に示すこととする。

（1）土砂採取区域選定作業

この作業段階は、対象市町村内における土砂採取区域の選定をおこなう、すなわち、対象区域の絞り込みをおこなう段階である（図－3 参照）。

まず、本作業をおこなうにあたり必要となる対象市町村の現地形メッシュデータを作成する。さらに、自然条件や社会条件、地元要請等から、土砂採取不可能地域および採取用土砂不適当地域を制約条件データとして入力することで、その対象市町村における土砂採取可能地域の把握をおこなう。ここで、本研究においては、積み込み桟橋の位置に関して、与条件として存在するものと仮定し、その位置座標に関しても、データとして入力することにより、現地形情報のデータベース化をおこなう。

つぎに、土砂採取可能地域に関して、ブロック設定をおこなう。このとき、対象地域が複数個存在する場合においては、それらを各1ブロックとして設定することとする。また、かなり広大な平面積を有する対象地域の場合は、いくつかのブロックに分割することとした。ここで、本作業は対象市町村における土砂採取可能地域に関して、採取土砂量の確保が可能であるか、さらに、土量確保可能な場合に、どの地域から土砂採取をおこなうことが費用面からみて適しているのかを検討するための作業である。したがって、これ以降の作業の操作性を向上させるため、各ブロックを等価ブロックに置き換えて取り扱うことで、高さ方向の変化のみに着目することが可能なものとする。

さらに、法面勾配および法面高に関する制約値を入力し、各ブロックに関して、この制約範囲内における最低計画地形高を

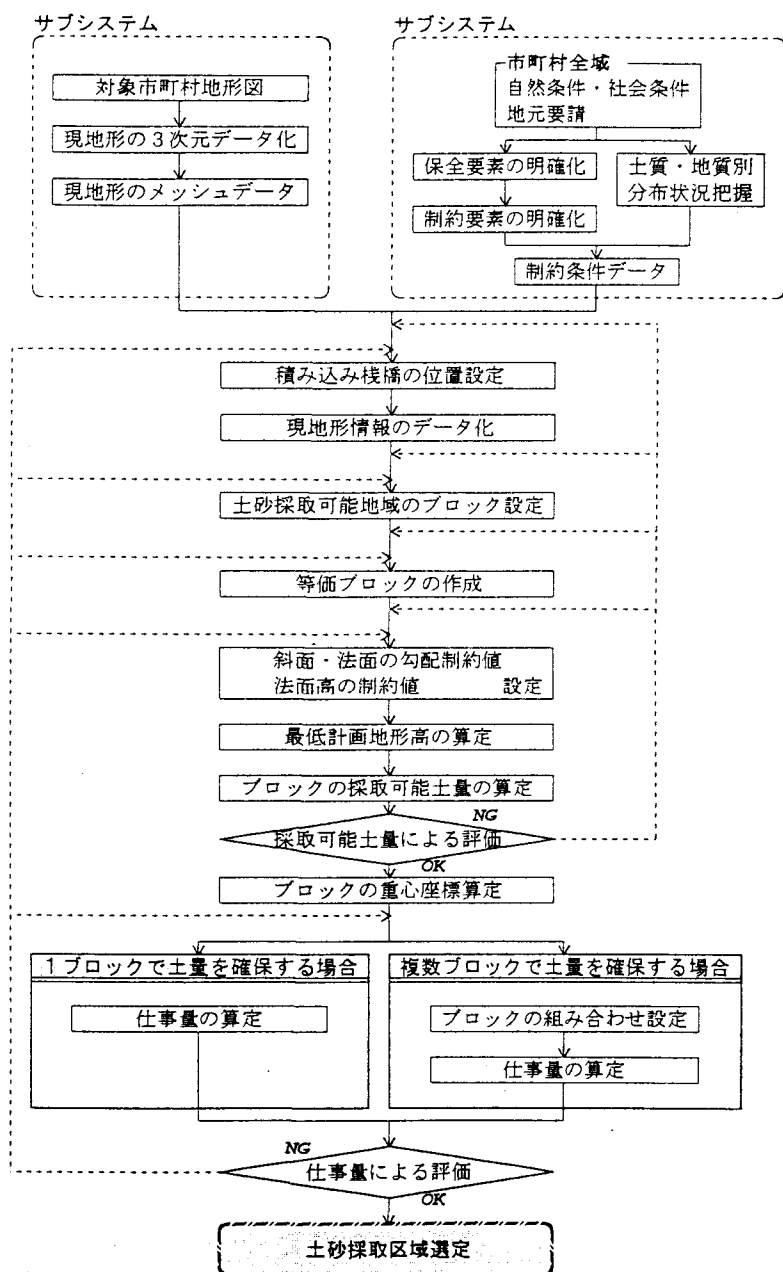


図-3 土砂採取区域選定作業における作業フロー

算定する。そして、この最低計画地形高と現地形高（等価ブロック高）から、ブロックの採取可能土量を算出する。すなわち、

[各ブロックの採取可能土量] =

$$[\text{ブロック面積}] \times ([\text{現地形高}] - [\text{最低計画地形高}])$$

により算出する。

1ブロック、または、複数ブロックで採取土量の確保が可能であるならば、それらブロックの重心座標の算定をおこなう。そして、ブロックの重心座標

および積み込み桟橋の位置座標を用いて仕事量の算出をおこなう。ここで、複数ブロックで採取土量を確保する場合に関しては、先にブロックの組み合わせの設定をおこなう必要がある。

本作業段階においては、仕事量が後に算定する施工費用に大きく影響するものと考え、仕事量が小さくなるブロックを選定することとした。

(2) 計画地形設計作業

この作業は、計画地形の代替案作成段階である（図-4参照）。

まず、前作業段階において用いた現地形のメッシュデータ作成サブシステムおよび制約条件データ作成サブシステムと同様に、土砂採取区域および積み込み桟橋の位置を含む地区内においてメッシュデータの作成をおこなう。これは、対象市町村全域を含む概略的なデータベースよりもその市町村内で選定した区域のみの詳細なデータベースを本作業段階で用いることが理想的であるためにおこなうものである。しかし、システムおよびそれに伴うプログラム等による作業領域の確保が可能であるならば、前作業段階において詳細なデータベース化をおこない、本作業段階においてもそれを用いることの方が望ましいと考えられる。また、本作業段階においては、対象地域が決定しているため、上位計画等により、対象市町村内におけるその地域の導入機能が、ある程度決定できる場合が存在するため、

それに関する計画条件に関しても、データベースとして入力する必要があると考える。

これらサブシステムにおいて作成したデータベースを用いて、現地形のモデル化をおこなう。このとき、現地形高に関するデータにおいては、本研究グループがこれまでに開発した4点平均メッシュ法を用いたメッシュデータ化をおこなうこととした（図-5参照）。

さらに、造成方針の検討においては、保安林の転地の有無、環境アセスメントに関する点から生じる

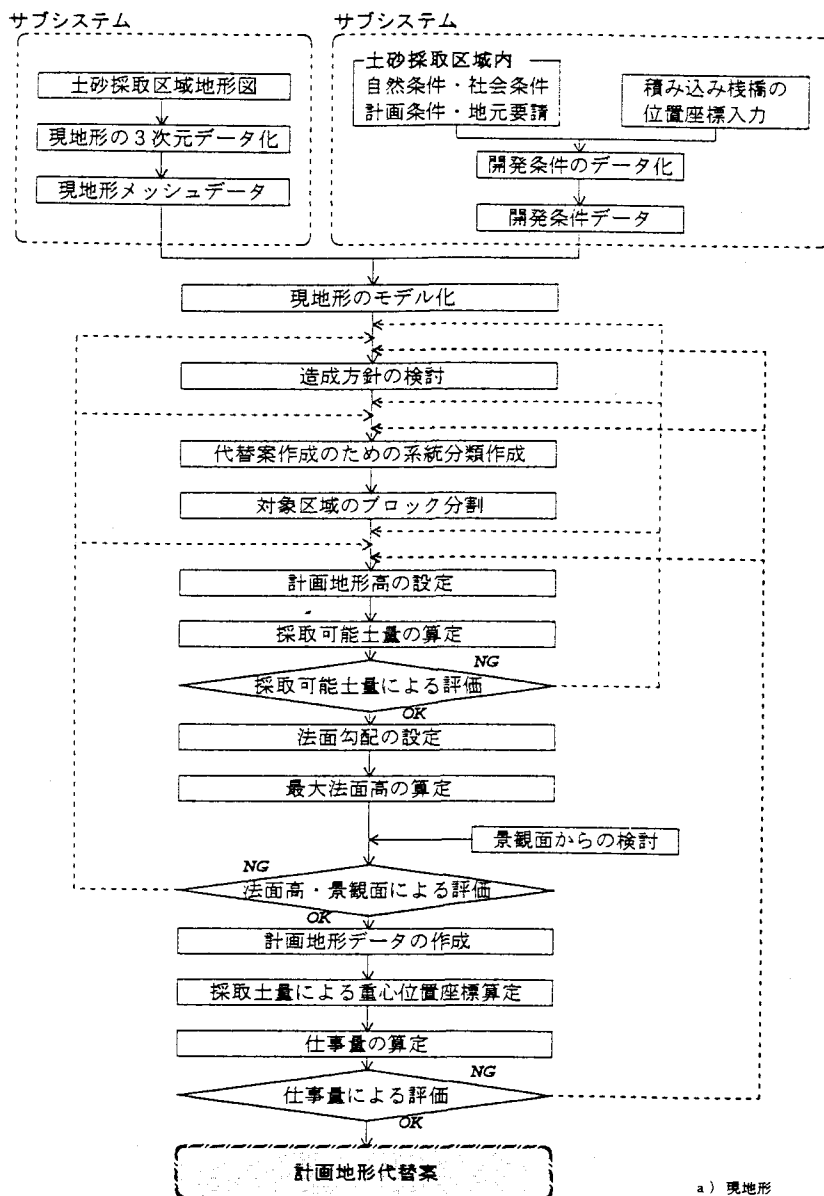


図-4 計画地形設計作業における作業フロー

可能性がある既開発地域との間に確保する緩衝緑地帯の有無，対象地区と周辺地域における既開発地域における計画地形高の整合性に関する問題，さらに，土砂採取跡地の地形形状に関する条件等を検討し，それら諸条件をまとめることにより，代替案作成のための系統分類をおこなうこととする。そして，これら各系統分類ごとに地形設計をおこなうことにより，代替案の作成とすることとした。

まず，対象区域においてブロック分割をおこなう。これは，その地形形状によって，盛土部分が存在する場合や計画地形高に離壇のようなステップを付ける場合が存在するため，それらに関する作業の効率

性を確保するためにおこなう。したがって，系統分類によっては，盛土部分が存在せず，さらに，離壇も付けない計画地形形状，すなわち，切土部分のみであり，さらに，計画地形高が一定で一平面となる土砂採取跡地形形状が存在するときは，開発可能面積となり得る部分と法面となり得る部分との境界を設定するのみであり，ブロック分割をおこなう必要はないと考える。ここで，盛土部分が存在する場合は，その盛土部分の周辺に存在する切土部分に関して，盛土量に相当する土量の確保が可能な切土部分を1ブロックと設定し，その切土ブロックから盛土ブロックへ土砂運搬をおこなうこととする。

つぎに，計画地形高を入力し，その計画地形高から採取可能土量の算定をおこなう。計画地形高の違いにより，採取土砂量の確保が不可能な場合が存在するため，必要採取土量の確保が可能となるまで，繰り返し計画地形高の入力をおこなう。

その後，法面勾配を入力し，最大法面高の算定をおこない，さらに，法面高による実現可能性の検討をおこなう。また，景観面からの検討を

おこなうために，市販の造成計画支援システムを用いて，様々な角度からの景観をアウトプットとして出力し，それを用いて景観面からの検討をすることで評価をおこなう。

これらをクリアした計画地形設計代替案に関して，計画地形高のデータベース化をおこない，これ

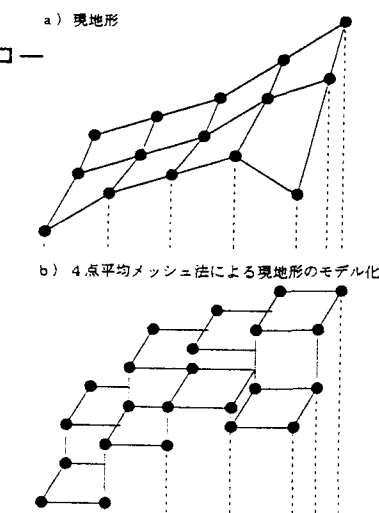


図-5 4点平均メッシュ法のイメージ図

を用いて仕事量の算定をおこなう。すなわち、

$$W = \sum_{i=1}^{li} \sum_{k=1}^{lik} [(Z_{MOik} - Z_{MOik}) \sqrt{(X_t - X_k)^2 + (Y_t - Y_k)^2}]$$

ただし、
 W : 仕事量
 li : 開発対象区域ブロックの総数
 (ただし、盛土のための切土ブロックは除く)
 lik : 開発対象区域ブロック i のメッシュ総数
 Z_{MOik} : メッシュ k の現地地形高
 Z_{MOik} : メッシュ k の計画地形高
 X_t : 積み込み棧橋の X 座標
 Y_t : 積み込み棧橋の Y 座標
 X_k : メッシュ k の X 座標
 Y_k : メッシュ k の Y 座標

を用いて、仕事量の算定をおこなう。さらに、算定した仕事量から評価をおこなう。

(3) 概略投入機械費用算定作業

この作業段階は、各代替案に関して、本作業の後におこなう総合的な評価のための投入機械費用を概略レベルで算出する作業段階である（図-6 参照）。

まず、現地地形情報と計画地形情報とから地形高に関するデータベース化をおこなう。さらに、採取土砂の土質の区別により、その分布状況を把握し、データとして入力する。ここで、硬岩に関して、民家から 500m 以内・以上に分類している理由としては、硬岩の場合、発破による土砂採取をおこなう必要があり、本研究グループにおいて事前におこなったヒアリング調査から、周辺住民に関する騒音や粉塵等の面から、この距離を用いて分類することが妥当ではないかという結果を得たためである。すなわち、民家から 500m 以内の地区に関しては、大規模な発破作業をおこなうことが不可能であるという結果を得たためである。

さらに、盛土部分が存在する場合においては、前作業段階において設定した盛土のための切土ブロックを設定するとともに、施工ブロック分割をおこなう。そして、それら施工ブロックに関して土質別のブロック重心を算定する。その後、土砂搬出計画からストックヤードの規模および位置の設定をおこなう。さらに、クラッシャーの台数算定をおこなう。

ここで、本研究グループにおける事前のヒアリング調査から、ストックヤードは最大 1 日搬出土量をストックすることが可能な規模であることが望ましいという結果を得たため、ストックヤードの規模に関しては、最大 1 日搬出土量に見合った規模のものを設定することとした。

つぎに、投入口の位置をクラッシャーの台数分設定し、さらに、ストックヤードの位置も考慮し、メインベルトコンベアおよび場内ベルトコンベアの位置・規模を決定する。その後、土質別に投入機械台数を算定し、それに関わる費用を算出するとともに、ストックヤードや投入口、ベルトコンベア等の設備に関わる費用を算出することとした。

そして、この流れにおける様々な設定作業部分を变化させることにより、シミュレーションモデルと同様に取り扱い、各計画地形代替案における概略投入機械費用案を策定することとした。

(4) 各代替案の評価

ここでは、上述の作業をおこなうことにより策定した計画地形代替案およびその代替案ごとの投入機械費用等を用いて評価をおこなう。この評価段階においては、土地開発の面からの検討を考慮するために、計画地形設計作業によって策定した各代替案ごとに周辺からのアクセス路を設定し、そのアクセス路に関わる費用を算出する。このアクセス路建設費用の算出に関しては、これまで本研究グループが蓄えてきた建設費用データベースを用いて、原単位法を使用し算出することとした。また、代替案の評価においては、各代替案における開発可能面積から概略的な土地単価を算出し、この土地単価を用いて評価をおこなうこととした。

5. おわりに

本研究では、今後増加し拡大する傾向にある大規模埋立地造成工事における土砂採取工事に着目し、企画・構想段階において跡地利用を先取的に考慮した効果的な土砂採取計画案を策定するための方法論を構築したと考えている。本論文上においては、紙面の都合上、実証的検討を示すことが不可能であったが、これに関しては、発表時にこれら方法論の

説明をおこなうとともに、それに沿ったかたちで実証的検討をおこなったものを示すことで、本論文の成果および今後の検討課題等を述べることにする。なお、その実証的検討に用いる対象地域に関しては、モデルケース的に作成した架空の地域を用いて論じることとする。

【参考文献】

- 1) 吉川和広：土木計画とOR，丸善，1969年
- 2) 春名攻：建設事業におけるマネジメントシステム開発の考え方と方法について，The 6th PMS FORUM，日揮情報システム開発株式会社・PMSフォーラム事務局，1991年9月
- 3) 江尻良：大規模埋立工事の工事計画策定のための基礎的研究，京都大学修士論文，1982年2月
- 4) 上山晃：土地開発プロジェクトプランニングのためのCADシステムの開発研究—整地計画・設計からのアプローチ—，立命館大学修士論文，1996年2月

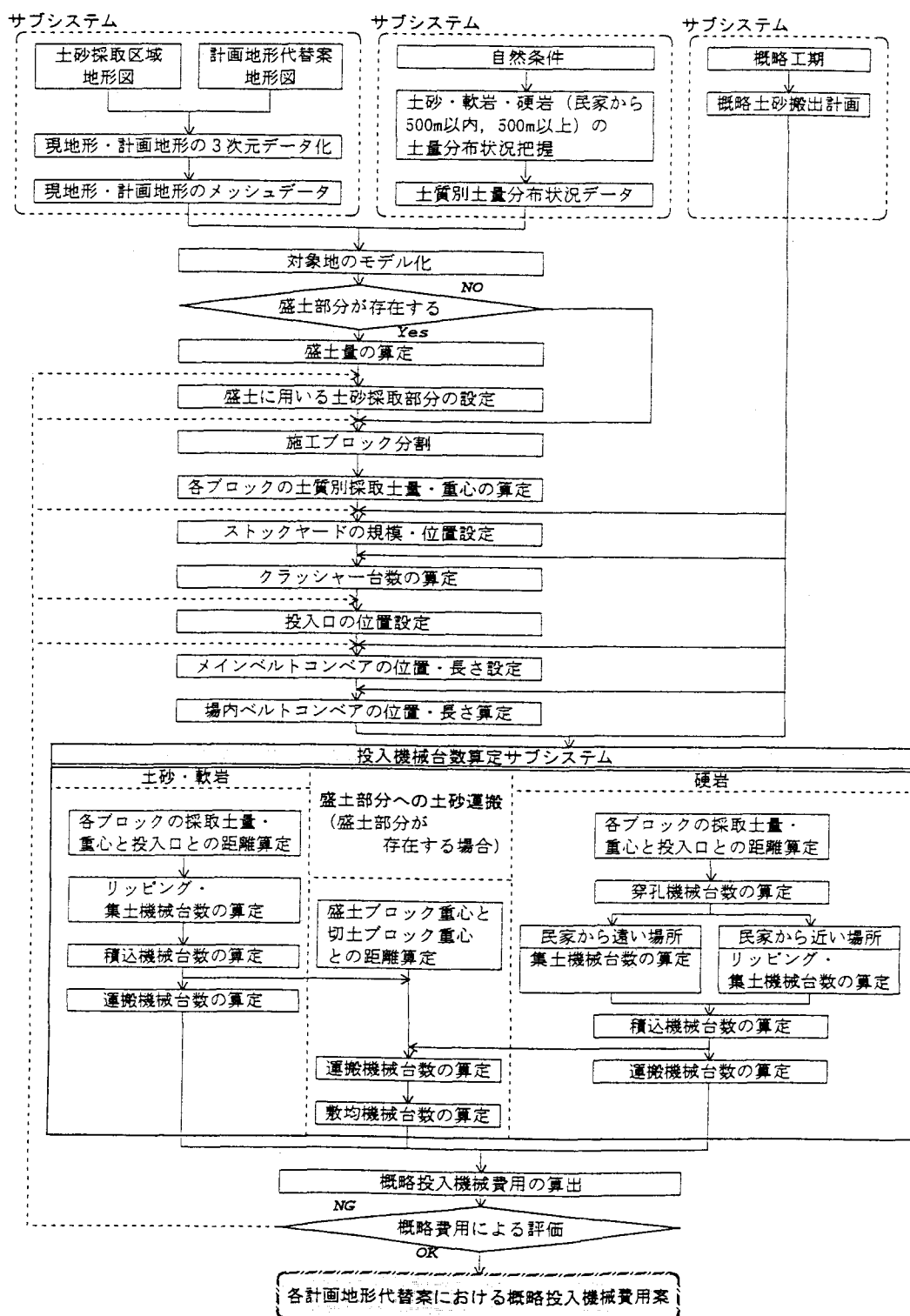


図-6 概略投入機械費用算定作業における作業フロー

- 5) 社団法人日本海洋開発建設協会：関西国際空港土砂採取・輸送・埋立工法調査 施工計画概要，1981年8月
- 6) 大阪府阪南整備事務所：阪南丘陵土砂採取事業 技術情報レポート 概要集，1994年6月