

# 大規模土地開発事業計画のための計画CADシステム開発に関する研究

Development Study of Computer-Aided -Design System for Land Development  
Project Planning Centering a Topographical Design

立命館大学理工学部 春名 攻\*  
立命館大学大学院 滑川 達\*\*  
立命館大学大学院 川上 俊幸\*\*\*  
立命館大学大学院 ○大村 健太\*\*\*

By Mamoru HARUNA, Susumu NAMERIKAWA, Toshiyuki KAWAKAMI and Kenta OMURA

土地開発事業において、従来行われてきたプロジェクトのプランニングの段階における計画内容検討作業は、平面レイアウト及び計画地形を対応させながら試行錯誤的に行われてきた。これに加え、近年土地開発プロジェクト計画は高度化・複雑化・複合化の様相を呈し、計画的検討作業における検討作業項目や情報量は飛躍的に増加している。このため、多数の代替案の作成とそれらの比較検討による総合的評価を十分に実施することができず、効率的な土地開発計画立案はますます困難となってきた。

本研究では、土地開発プロジェクト計画における計画案策定を合理的かつ効率的に進めるために、計画者の意志決定や適切な判断を促し、実効性の高いプロジェクト案策定のための計画支援情報を提供する、計画CADシステムの構築を目指した。

キーワード： 土地開発事業 計画CADシステム ハイブリッド

## 1. はじめに

近年の土地開発事業に対する社会的ニーズ、問題解決要請は高度化・複雑化の傾向を強めている。一方では、地価の高騰・良好な開発地不足により、開発対象地の多くを大都市近郊の農山村地域に求めている現状である。このような状況の中で、大規模土地開発事業における地形設計作業も、事業費用の多くを占める工事費用面、または大規模造成に伴う景観面など配慮すべき検討項目が増大しており、その果たす役割はますます重要となってきた。

そこで本研究では、土地開発事業計画実現の鍵をにぎる地形設計作業を中心に捉えた計画システム構築を踏まえた計画CADシステムの開発を行うこととする。

## 2. 土地開発プロジェクト計画案策定のための画システム開発に関する考察

本研究においては、土地開発プロジェクトの基本計画案の策定作業のシステム化をめざして、まず、検討作業項目の全体構成を図-1に示すように整理した。この構成は、基本計画案の策定作業のうち特に地形設計段階を中心として、景観面・事業マネジメント面・工事施工面といった検討項目を先取的に検討可能にすることを目指している。

本稿では、図-1のシステムフローにおける中核を担う計画地形設計プロセスのシステム化に関して検討を行うこととする。

本研究で検討対象としている計画地形設計プロセスは、「計画地形設定方針の検討段階」及び「ハイブリッド型モデルによる計画地形設計段階」の

\* 立命館大学 理工学部 077-561-2736

\*\* 立命館大学大学院 理工学研究科 総合理工学専攻 077-561-2736

\*\*\* 立命館大学大学院 理工学研究科 環境社会工学専攻 077-561-2736

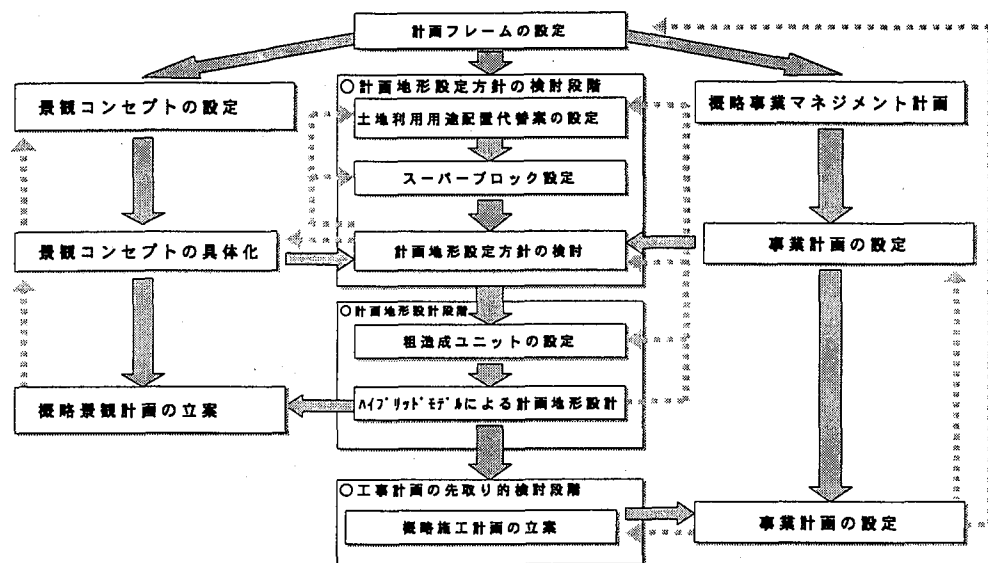


図-1 システムフロー

大きく2つの段階で構成される。

このような段階的な計画検討を行うに際して、各段階での計画地形代替案の実現可能性を先取的に検討するために、最終的な計画地形案の評価項目を上位段階でラフに評価・検討しながら計画を下位段階に進めていくようなチェック機能を導入する必要があると考えた。すなわち、土工量を中心とした概略費用の検討、勾配による負担を考慮した徒歩による施設間の移動、幹線街路からの自動車によるアクセス距離を地形の利用しやすさとして設定し、これらの指標から各代替案の評価を行なうことが求められる。本研究では、工事施工面の検討項目を先取的に検討可能にする計画システムの構築をめざすこととした。

### 3. 計画地形設計プロセスのシステム化に関する検討

#### (1) 計画フレームの設定段階

この段階においては、計画検討作業を行うための前提条件の整理として、導入施設の検討、対象地の機能構成、対象地のゾーニング、計画地形設

計方針の設定の検討についての説明を行う。

#### a) 導入施設の検討

ここでは、上位計画における職・住・遊・学などの導入機能の規模より、その具体的手段としての導入施設の規模や内容およびその施設イメージといった施設計画を行う。また、その施設内容や規模より、導入施設のための必要面積の概算を行う。

#### b) 対象地のゾーニング

対象地の地形情報により地形的なまとまりを検討し、対象地の概略的な導入施設の配分や機能システムの構造形態をもとに、対象地のゾーニング及び地域内概略ルート及びアクセスルートの設定を行う。

#### c) 土地利用計画の策定

本研究において上位計画となる、土地開発プロジェクトの計画段階における土地利用計画は土地利用計画構想として位置づけられ、開発区域におけるセンター施設を中心に、学校、郵便局、商業施設、道路、あるいは公園・緑地等の公共利用地などを配置することを目的としている。また、そ

これらの機能の円滑な導入を図るために、動的な機能処理を受け持つ交通計画と平行して計画立案される。したがって、平面から空間に至るイメージを創造するために各施設の数量と位置を決定し、対象地域の快適性、利便性、あるいは充実性などの基準を設計することが土地開発プロジェクトの開発計画の評価を高めるために必要である。また、施設利用の利便性や快適性を十分に満足させるものには、造成計画として検討される計画地形の形状、のり面勾配、あるいは造成面高低差などにより制約される。そのために、土地利用計画の策定では重要施設間の移動を想定して、施設配置やメイン・ストリートの配置を決定することが重要である。

#### d) 対象地の造成方針の検討

近年の社会的ニーズとして、自然環境に対する影響が取りざたされている。そこで、土地開発プロジェクトプランニングにおいても、そのプロジェクトのコンセプトをもとに、開発方法、地形の活用方法等の大枠を計画地形設計方針の設定として取りまとめる。その内容として、

- ①対象地全体において大規模に地形を動かすような大規模造成
  - ②地区単位内において地形を動かすような小規模造成
  - ③できるだけ現状地形を動かさない地形活用型造成
  - ④開発地内に保全地区を設けることによる自然保全型造成
- 等々が考えられる。この4方針を軸に造成の方針を決定していくこととした。

### 4. 計画地形設計方針の検討段階

#### (1) 計画地形設計方針の検討方法のシステム化に関する考察

現実の構想計画策定作業では、基本的な構成要

件である人口・交通・土地利用・地形のみならず、例えば、防災・費用・美観等々といった様々な要件を含めて総合的に検討、構成されることとなる。しかしながら、現実には全ての要件を同時並行的に検討しクリアしていくことは望めないことから、試行錯誤的な作業手順をとらざるを得ない。このために作業では手戻りや全面的変更を繰り返すことがほとんど避けられないものとなっており、極めて膨大な作業量を発生させている。

現在とられている計画内容検討作業の進め方は、基本的に平面レイアウト及び計画地形を対応させながら検討・決定していく作業を中心とし、他の要件については事前にこれを想定し、事後にその実現を検証するという手順を基本としている。この点に着目して、まず平面レイアウト→計画地形の決定プロセスを中心にした作業の定型的な整理をおこない、そこでの処理システム開発の方向を探ることとした。

本研究で取り扱うような、土地開発プロジェクトにおける計画地形案の策定作業を企画案策定段階において先取的に検討する場合、発生する設計作業の中に実現性を検討する作業が内在する。この問題を扱うには、前述のような平面レイアウト→計画地形間で対応させながら検討・決定するという手順では、各作業間の手戻りによって実現可能性が確保される方向に向かうとは限らない。

そこで本研究では、土地利用計画案が策定された段階で計画地形案の実現可能性を概略的に検討するための中間作業として、計画地形設計方針の設定作業に着目した。この作業は、平面的で機能論的な視点から策定されてきた計画を初めて立面的で技術論的な視点に置き換えられる作業であり、おのずと3次元的検討がその中心的作業となってくる。そこで、コンピュータグラフィックスを積極的に活用して、山間部における開発プロジェクト対象地を3次元的な空間として把握するととも

に、そのための地形情報をデータベース化し、また計画者にとって有用と考えられる各判断情報を整理することとした。同時に、計画地形設定方針の設定が、計画の目的を確保しつつ目的合理性の高い地形を形成できるかどうかを概略的に評価するシステムを内包することとした。また、これを用いて迅速かつ効率的に各計画情報の検討を行なうための計画地形設定方針の設定プロセスを以下のようにデザインした。

## (2) 計画地形設定方針の決定の具体的プロセスの整理

本研究では、計画地形設計方針の設定の選定作業を「地形のモデル化の段階」、「数量算定段階」、及び「実現可能性の検討段階」の大きく3つのレベルで構成されていると捉えた。そこで、以下に各段階の検討内容と具体的作業について述べることにする。

### a) 地形のモデル化の段階

企画・構想段階における計画地形設計方針の設定の選定作業は、先述の通り立面的検討を初めて行う段階である。また、企画・構想段階における対象地形のモデル化は、造成シミュレーションのための最初のデータ入力の段階である。対象地形のモデル化は、プロジェクトの実施の意志決定を行なう際に重要な情報を作成する作業であるが、この段階における検討項目の精度は、計画化の段階で検討する項目に比べて概略的なものである。

本研究では、企画・構想段階において計画段階での検討内容を先取りの検討として考慮しつつ、開発概要である自然的・社会的な制約条件を前提条件として整理し、造成候補案のフィージビリティを確保するための制約条件として用いることとした。なお、ここでの検討項目を整理すれば以下のようなものである。

- ①前提条件の整理
- ②地形データの作成

### b) 数量の算定

- ①造成工事に伴う概算土工量の算定
- ②法面面積・土量の算定
- ③アクセス路の距離・勾配、面積・土量の算出
- ④総開発面積の算定
- ⑤土量算定
- ⑥隣接する道路及び開発との関係
- ⑦南面率の算定
- ⑧有効面積の算定
- ⑨平均移動距離の算定
- ⑩概略仕事量の算定

### c) 実現可能性の検討

- ①概算土工量の検討
- ②周辺データとの整合性の検討

## 5. 計画地形設計段階

### (1) 計画地形設計作業のシステム化に関する考察

近年の土地開発プロジェクトにおいては、対象地の土地利用計画や自然環境の保全等の原地形による制約が支配的な要因となるために、山間部における急峻かつ複雑な地形や多種の土質構成などの地形条件を十分に把握する必要がある。そして、その開発プロジェクトに対して、コスト面に対する実現可能性、計画地形の景観的な情報、あるいは利用しやすさ等の機能性を予め把握することが大変重要になってきている。つまり、企画・構想段階では多面的な条件を考慮して立案した土地利用計画案をもとにして、地形の変化をとらえながら計画地形の設計を行なうことで、造成工事の費用から実現可能性や良好な景観や利用のしやすさ等の周辺環境の整備計画また環境への配慮について、それぞれを先取りの把握することが重要であると考えた。

そこで本研究では、コンピュータグラフィックスを積極的に活用して、山間部における開発プロ

プロジェクト対象地を3次元的な空間として把握するとともに、そのための地形情報をデータベース化し、また計画者にとって有用と考えられる各判断情報を整理するとともに、計画地形設計に関する検討作業をシステム論的に構築することとした。また、これを用いて迅速かつ効率的に各計画情報の検討を行なうための計画地形の策定プロセスを図-2のようにデザインした。

まずここでは、計画地形設計作業を地形のモデル化の段階、計画地形設計方針の設定検討の段階、及び地形処理の段階の大きく3つのレベルで構成されると考えた。各計画地形代替案の実現可能性を先取的に検討するため、その中心となる土工量に着目し粗造成レベルでのコストの概算を行なった。また、勾配による負担も考慮した徒歩時の施設間の移動距離を歩行者に対する地形の利用しやすさとして設定し、これらの指標から各代替案の評価を行なうこととした。さらに、本プロジェクトの目標である環境保全の観点から開発規模を

算定することにより開発プロジェクトとの適合性を評価する一指標とした。

#### a) 地形のモデル化

企画・構想段階における計画地形設計では、企画・構想内容のフィージビリティを確保するために、道路計画や土地利用計画などの関連性を考慮した計画地形案の想定を行なうこととした。また、計画段階における検討項目の中で、特に重要と考えられる要素を先取的に取り込んだ地形案の設計を行なう必要がある。さらに、企画・構想段階における経済造成シミュレーションの検討は、プロジェクトの実施の意志決定を行なう際の重要な作業であるが、この段階における検討項目の精度は、計画化の段階に比べて概略的なものである。

そこで本研究では、計画段階の検討内容を先取的検討として考慮しつつ、プロジェクトの実現可能性を確保しながら計画代替案の設計を行なうためには、空間的・機能的な検討も必要であると考えた。そのために、開発地における自然的・社会的な制約条件を考慮した前提条件の整理を行ない、企画・構想案の設計プロセスにおける制約条件とした。

① 前提条件の整理  
② メッシュ平均勾配・平均標高の算定

#### b) 計画地形設計方針の設定の検討

土地開発プロジェクトの企画段階において、計画された内容を実体化するためには、計画者が対象地の造成地形面の形状を総体的に認識しておくことが必要であり、個々

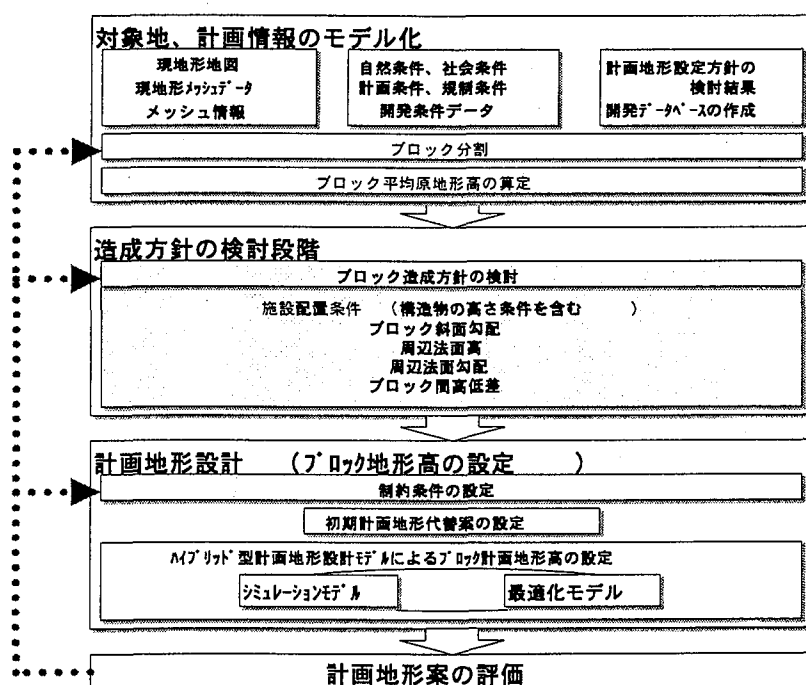


図-2 計画地形設計システムのシステムフロー図

の造成ブロックの造成面の形状を把握するだけでなく、土地開発対象地区全体の造成面の形状をバランスよく計画していくためにも、大変に重要な検討であると考えた。以下に計画地形案の設計方法について述べることにする。

①必要面積の算定

②貼り付け面積の検討

③計画地形設計方針の設定の検討

c) 地形処理の段階における検討

本研究では、企画・構想段階におけるプロジェクト案の策定作業として、計画地形の設計を中心とした企画・構想案の策定方法を提案している。このような方法をとる理由をあらためて整理すると以下のようにまとめることができる。

○計画地形の形状は土地利用や施設配置に際し、支配的な要因である。

○近年の土地開発プロジェクトでは、非常に地形が急峻かつ複雑な土地を対象とすることが多く、開発事業費の中で比較的変動の激しい土地造成工事費が計画地形により直接的な影響を受ける。

○計画地形を設計する際に、土工移動の少ない区域を指定することは計画者の経験と勘に頼っているために、望ましい結果を得る確証がないこと等のように計画地形の設計作業が多くの問題点を含んでおり、企画・構想段階における計画地形の設計作業を合理化し、中核業務システムとして編成することにより、効果的かつ実現性の高い企画・構想案の策定が可能となると判断している。

そこで本研究では、対象地形をブロック分割し、計画地形の形状を各ブロック単位での空間図形として近似する方法をとることにより、3次元的な空間での幾何学的な問題として地形表現が可能となった。また、計画地形の設計問題に対し、対象地域内での切盛土工量のバランスやブロック間の高低差及び勾配等の制約条件を取り込んだ実験的な計画地形設計モデルの構築を行なった。つまり、

各代替案の計画地形設計方針の設定に従い、コスト面や自然地形の変量の構成要素の一つである土工量に着目し、地形的な必要条件や環境に配慮した地形の造成を勘案した計画地形高を算定した。計画地形の設計における制約要因として制約条件を設定し、ブロック単位の計画高などの算出を行なった。また、計画地形設計段階においては、代替案ごとに複数の地形高の組合せが存在し、その都度土量計算を行う必要がある。そこで、本研究では土量計算の方法を従来の平均断面法を用いるのではなく点高法を用いることとした。

①制約条件の設定

実際に、計画地形設計モデルを運用するにあたり、計画地形設計モデルにおける制約条件の設定を検討することとした。制約条件の設定においては、計画地形の設計方法が原地形の形状に大きく制限されることから、計画者が原地形の形状に対してより正確に認識を持つことが必要である。そこで本研究では、計画地形に対する設計思想を取り込むことが可能であり、適切な制約条件値の設定を行なうため、原地形の形状に対する理解をより客観的なものとし、原地形の形状を鳥瞰図による3次元的な表示を行なうことにより、計画者の判断を仰ぐこととしている。つまり、計画地形設計における制約条件は土地利用計画や環境に対する配慮や造成面やのり面の安定・沈下を考慮したもので、

〈イ〉斜面勾配量

〈ロ〉切盛高条件

〈ハ〉造成ブロック間高低差条件

〈ニ〉切土量と盛土量のバランス

の4項目を制約条件として設定し、検討を進めることとした。

②計画地形設計の実験的モデル

以上の制約条件式(a)～(d)において、操作変数は各ブロック内の面積に対する上下変量が微小

であると考え、各ブロックの面心を重心としてとらえ、この重心点のZ座標の計画高と原地高の差、つまり各ブロックの移動高を使用して計画地形の設計を行なうこととした。計画地形の策定プロセスは、まず重要施設における計画地形高を原地形の分析結果をもとに設定し、これに付随して各施設ブロックの計画地形高を、先の制約条件の(a)～(c)を満足するものとして設定する。なお、そこで、(d)の切土量と盛土量のバランスの検討を行ない、もしバランスが図れないときには、地形高を変更し、再度バランスの検討を行なう。切土量と盛土量のバランスが図れたら、これを土地利用配置案の対する計画地形設計案として取りまとめることとする。また、バランスが図れない場合は、造成地の変更もしくは上位計画へのフィードバックを行うこととなる。

## (2) ハイブリッド型計画地形設計プロセスに関する考察

本研究が主な対象とする山間部における大規模土地開発プロジェクトのための計画地形設計では、これまでの計画手法である平面的な検討による地形設計では、計画対象地を的確に把握することは非常に困難である。すなわち、複雑急峻な対象地の地形的特徴ゆえに、思わぬ切盛土高の増加や法面の発生を引き起こす場面が多分に発生するからである。そこで、計画対象地を3次元的に捉えながら計画地形設計作業を進めていくことが非常に重要となる。その意味でも、計画地形設計システムの構築にあたっては、対象地を3次元的な取り扱いながら地形設計を行えるようなアルゴリズムの構築と、3次元的に対象地を把握することが出来る表示システムの付与が重要なポイントとなる。

一方、3次元的な検討対象空間に対して計画地形を一義的に決定するような優れたアルゴリズムは現在では見あたらないのが現状である。これは、計画地形設計の設計空間に対して、計画内容設定

のための自由度が大きいということに拠る。そこで、本研究では、計画地形設計作業を「計画地形設計方針の設定段階」と「ハイブリッド型計画プロセスを中心とした計画地形設計段階」の2段階として捉えることとした。すなわち、計画地形設計方針の設定段階では、計画対象地の地形的特徴の把握と計画地形の広がり方向の検討を行うこととした。当然、高さ方向への検討も概略的に行うことで、この段階における現象合理性は確保されている。次のハイブリッド型計画プロセスを中心とした計画地形設計段階では、計画地形設計方針の検討段階で検討した計画地形案をインプット情報として、広がり方向への自由度は固定した形で、高さ方向のみを変数として詳細な計画地形設計を行う。すなわち、分割されたブロックの平面形状は変化させずに、ブロックの計画地形高をコントロール変数として変更する事で、目的に合致した計画地形設計を行うのである。以下に、その内容について考察することとする。

一般に土工事の計画において、施工費用と計画地形とは機械編成を仲立ちとして互いに他を補完する関係にあると言える。そこで、「施工費用」、「機械編成」、「計画地形」の全てを目的に最適合致させた形で一義的に同時決定的すると言うことは非常に困難である。また、そのため、このような問題を解析できるアルゴリズムの開発が望まれているのが現状である。本研究においては、この問題に対してハイブリッド型計画プロセスを導入することで対応することとした。以下には、実際にハイブリッド型計画プロセスを計画地形設計作業に適用する場合について述べることとする。

### a) ハイブリッド型計画地形設計プロセスについて

本システムにおいて、シミュレーションモデルは初期入力或いは最適化モデルで設定された計画地形に最も安く、確実に土工事ができるような機

械編成を標準的な施工機械組み合わせに基づいて計画する。最適化モデルにおいては、このシミュレーションモデルで計画された機械編成（費用関数）を利用して工事費用を最小化する計画地形の設計を行う。この作業を解が収束するまでサイクリックに繰り返す。なお、図-3にこのハイブリッド型計画プロセスの基本構造を示す。

#### b) シミュレーションモデルについて

これまで本研究グループでは、都市・地域計画におけるProject-Planningレベルでの工事施工面の先取り検討という立場で、土工事計画策定のための支援CADシステムの開発研究について継続して研究を行っている。これまでに開発してきた計画CADシステムにおいては、計画者との対話型手法により施工機械計画の立案（機械編成の決定）を行ってきた。本研究における施工機械計画の取り扱いは、都市・地域計画における企画・構想段階をターゲットに、このレベルの計画地形設計作業における工事面の先取的概略検討のためのシステム開発を目指している。そこで、標準的な施工機械の投入組み合わせを設定し、この組み

合わせに即した形で各組み合わせによる施工機械費用の算定と分析・考察を行うことで、本CADシステムの適用による土地開発プロジェクト計画の実現可能性の確保と、施工機械計画立案のための大まかなフレーム付けが可能になると考える。このような認識のもと、施工機械計画のシミュレーションモデルの構築を行うこととした。

#### c) 最適化モデルについて

ここでは、費用低減という評価視点を中核として捉え、システムモデルの構築を行っている。今回本研究における開発システムでは、「土工事費用」、「硬岩掘削費用」、「法面保護工費用」の3つの費用を最小化を目的関数とする線形型にモデリングを行った。本研究グループのこれまでの研究成果並びに現場技術者に対するヒヤリング調査によると、特に大規模な山間部土工事において、この3費用項目の全体工事費用に占める割合が非常に高いという傾向が読みとる事が出来た。また、本研究がFormulateしたように、分割されたブロックが高さ方向にのみ変数を持ちながら計画地形設計を行うような構造だと、分割されたブロッ

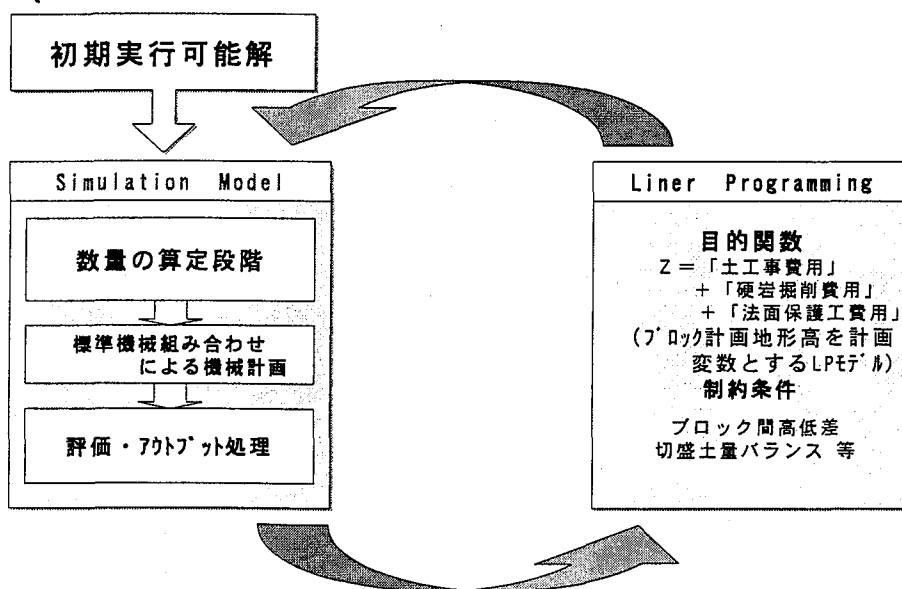


図-3 ハイブリッド型プロセスモデルの基本構成

ックの計画地形高変更に伴い、この3費用項目が大きな影響を受けながら変動する。このような考察に基づき、工事費用の最小化を目的関数とする線形問題の定式を行った。表-1に、定式化した最適化モデルの構成を示す。

### 6. 工事計画の先取的検討段階

#### (1) 大規模土工事の施工計画案策定プロセス

表－１ 数値計画問題の構成

|                                                                 |                                |
|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| 評価方法：工事費用（軟岩・普通土の掘削費用、積込費用、運搬費用、敷均費用、転圧費用、硬岩の掘削費用、法面保護工事費用）の最小化 |                                |
| 計画変数：検討ブロック（粗造成ユニット）の計画地形高                                      |                                |
| 与件：検討ブロック（粗造成ユニット）の分割形状、土質情報、施工機械組み合わせ、施工機械費用関数、                |                                |
| 制約条件：① ブロック斜面勾配                                                 | ② 敷地境界の地形高低差                   |
| ③ 敷地境界の勾配差                                                      | ④ 切盛高の上限値                      |
| ⑤ 計画地形高の非負条件                                                    | ⑥ ブロック間高低差（地形の利用性を考慮）          |
| ⑦ 切盛土量バランス                                                      | ⑧ ブロック計画地形高<br>（代表的な建築物の高さを考慮） |

## スの全体構成

土工事の施工計画を策定するにあたって、一般的には土量配分計画と運土計画が重要な作業であると認識されている。一方、現場技術者に対して実施したヒヤリング調査を基に計画的検討の意志決定の時期やその判断基準を整理した結果、土量配分計画や仮設運土ルート設定等の作業に対して、コンピューターグラフィックス技術を用いたユーリスティックな対話型システム構築が必要であると分析した。そこで、地形分析、土量配分計画、運土計画、機械計画、運土ルート計画を中核とした施工計画策定システムを構築することとした。本研究で開発するCADシステムの中核である土工事の施工計画策定プロセスを図－４に示す。

## （２）ブロック分割のための地形分析モデルの構築

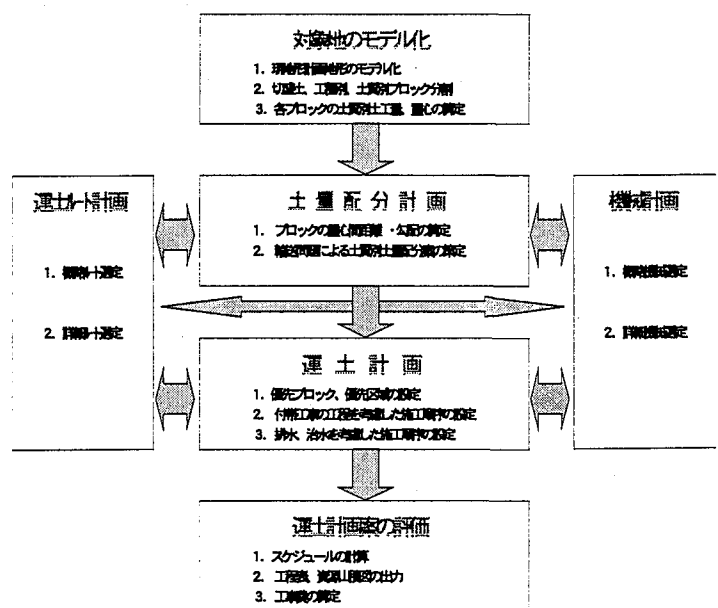
### a) 現地形、計画地形のモデル化

土工量の分布や土質の分布をよりの確に把握するために、対象地をメッシュ分割し、そのメッシュ単位で地形の形状、土工量の分布、土質の分布を柱状法を用いて捉えることとした。メッシュは、一

辺が5～20mの正方形であるが、現地形の形状や地形情報によりメッシュ精度を適宜変えながら検討を進めることとする。メッシュに関する数量は、現地形測点、計画地形測点の座標を読みとることで算定する。土量に関しては、土量変化率を考慮する必要がある。本システムでは、土質別の土量変化率を整理して取り扱う事とした。

### b) ブロック分割

一般的に、造成工事の対象地域は切土と盛土の



図－４ 開発 CAD システムにおける土工事の概略

2種類に大きく大別されるが、施工管理を容易にするために、対象地域を複数の切土或いは盛土ブロックに分割する。通常、このブロックを対象として、土量配分計画、運土計画が策定される。そこで、本システムにおいては山間部土工事における土工量の増加や施工機械の大型化をうけて、土の概略的な動きを掴むために、マクロなブロック分割を行うこととした。分割のレベルは、最大レベルでは切土地域・盛土地域によるブロック分割、中間レベルとしては重要構造物によるブロック分割、最小レベルでは土質によるブロック分割といった分割を採用することとした。

また、高切土、高盛土施工において、時間経過に伴う施工性の変化を考慮するために、施工機械の施工効率に影響を与えない程度に、マクロ的にブロックを層分割して検討することも有効である。

さらに、対象地域内で土量バランスがとれていない場合は、

○土量変化率の範囲内で締め固め等の設定の変更を行う。

○対象地域内における計画地形を部分的或いは全体的に調整して計画地形高の変更を行う。

○対象地域外に土捨て場、宿取り場の設定を行う。といった対応の検討を行わなければならない。

### (3) 数理計画法による土量配分モデルの定式化

従来の土量配分計画では、仕事量総和の最小化を目的関数とする線形計画法輸送問題の解法により土量配分計画が行われている。この方法では、ブロックの重心座標、運土量を基に、

「仕事量」 = 「運土距離」 × 「運土量」と定義し、この仕事量の総和を最小化する土量配分を算出している。しかしながら、このような平面レベルの検討では、急峻な地形形状を持つ山間部土工事では的確な土量配分計画の立案は困難であると言える。一般的に、運土機械の施工能力は物理的に運土ルート of 勾配の影響を強く受ける。

すなわち、登り勾配方向への作業では機械の作業効率は低下し、下り勾配方向への作業では作業効率は向上する。すなわち、従来型の土量配分計画では、運搬機械の施工性を考慮した検討ができないといえる。さらに工事進捗に伴い、対象地の地形形状は著しく変化するために、運土作業の施工条件も時間の経過に伴い大きく変化するといえる。すなわち、運土機械の施工性を考慮するならば、仮設道路設定方法の明確化が重要であり、土量配分計画の策定では時間的に変化する地形形状などを考慮して運土ルート of 設定を行う必要があると言える。そこで、本システムでは、土量配分における仕事量最小化のための目的関数に勾配による施工効率を組み込むことで、投入機械の施工性を考慮可能な土量配分モデルを採用することとした。

### a) 運搬機械の施工性を考慮した概略運土ルートの設定

通常の施工計画においては、運土距離はブロックの重心間距離で算定される。しかし、ブロック間に工事対象外地区等が存在する場合、実際の施工段階では、機械の施工性を考えると、迂回した運土ルートの設定を余儀なくされる。そこでこのような問題に対応しながら運土計画を立案することが不可欠である。そこで、概略運土ルートの設定方法として、現場技術者に対して実施しヒヤリング調査の結果を表-2に示すように整理した。この設定方法に則って、概略運土ルート設定を執り行うこととする。

### (4) 施工機械の施工性を考慮した運土計画モデルの構築

土量配分結果を基に、施工機械の施工性を考慮し、より実際の施工状態に近いかたちで概略運土計画を取りまとめていくためには、さらにブロックの施工順序の設定と施工機械の選定を行う必要がある。運土計画の策定に際しては、地形形状が施工進捗に伴い著しく変化することから、実施工

表－２ 運土ルート設定のための検討項目

| 運土ルートの設定方法                                                                                                                                                                                                                             |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ① 可能な限り既存道路を運土ルートとして設定する。<br>② 尾根線、谷線を運土ルートとして設定する。<br>③ 土地利用計画における新規建設道路を仮設道路として先行的に整備して活用する。<br>④ 排水性の良い河川付近に運土ルートを設定する<br>⑤ タイヤ系運搬機械を使用する場合、施工工期を通して使用可能、且つ運土量が多い区間に配慮した形の仮設道路の設定を行うことが望ましい。<br>⑥ 勾配、地盤の土質、土地買収、構造物、環境保全等を考慮して設定する。 |

における時間の経過に伴う地形の変化を把握しつつ運土ルートの位置や勾配などの施工効率の変化を考慮する必要がある。ここでは、運土作業段階における地形変化と施工条件をコンピュータグラフィックスを利用した計画支援システムを用いて運土計画を合理的に立案することを可能にするシステムの構築を行うこととする。

運土計画の立案に際しては、投入機械の機種選定や台数の算定、スケジュール計算等の検討が必要となる。また、山間部などの土工事ではダンプトラック等の大型機械を用いて運土作業を行うために、運土機械の施工性や安全性などの確保のための仮設道路の設定が必要となる。また、工事進捗に伴い投入する適切な施工機械パーティーは、刻一刻と変化する。そこで、この点に関しても考慮する必要があると言える。そこで、本研究ではこのような急峻な地形形状を持つ山間部土工事にも対応した運土計画策定プロセスを以下の様にデ

ザインすることとした。

○運土ブロックの施工順序の設定

ここでは、分割されたブロックを基本単位として、土量配分結果を基に施工順序の設定を行う。

○ブロックの層分割

対象地のモデル化において分割されたブロック

内において、施工が進むことによってそのブロック内の施工条件が著しく変化することがある。特に切盛土高が大きいブロックで顕著である。そこで、このようなブロックを層としてさらに分割し、その層で分割されたブロックを1つの単位ブロックとして取り扱うこととする。

○施工順序の設定

概略施工順序の設定において、発見的に施工順序の設定を行うと、その施工順序が運土計画の最適な順序と整合がとれているとの保証がない。また、施工可能な施工順序代替案の検討は、検討作業量の膨大さや検討作業が問題の特性上システム化が困難であると言える。そこで、熟練現場技術者へのヒヤリング調査を実施し、その結果施工順序の設定方法に関して優先的に考慮する項目を表－３のように整理した。これを考慮して、計画者が対話形式で施工順序を設定することとした。

表－３ 施工順序設定のための設定項目

| 施工順序設定のための優先考慮項目                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ① 機械の施工能力は台数に比例するが、人間の能力は人数に比例しないことから人間の要素が関与するブロックを優先的に施工する。<br>(1) 構造物工事等の付帯工事が、工程に影響・制約を及ぼす場合。<br>○ 切土部の構造物工事と関連して、運土距離の短い運土区間から施工する。<br>○ 盛土部の軟弱地盤、構造物工事と関連した掘削土質等の条件等を考慮する。<br>○ 盛土部の防災工事の施工性を考慮して、地形高が低い部分から施工を行う。<br>(2) 作業スペースの確保、運搬機械の施工性等を考慮して、優先ブロックを設定する。<br>○ 施工機械が入りやすい場所から施工を行う。<br>② その他の順序は、治水・排水を考慮して設定する事とする。 |

## 8. 今後の研究方針

### (1) 概略景観計画立案サブシステム開発の基本方針

近年、開発行為に伴う景観への影響問題は、計画的検討において非常に重要であるとの認識が定着しつつある。研究対象とするプロジェクトの企画・構想段階においても景観面の検討を先取的に検討・把握する必要がある。特に、本研究で開発する地形設計CADシステムとの連続性を考慮し、発達・進化が著しいコンピュータグラフィックス技術を積極的に活用して、ビジュアル的な計画の実現化を目指すこととする。

### (2) 概略事業マネジメント計画立案サブシステム開発の基本方針

土地開発プロジェクトの企画において事業マネジメントについて方向付けをすることは、土地開発プロジェクトの関連主体が参画するかどうかを決める際の重要なポイントである。このような事業マネジメントは、プロジェクト成功の一つのとなる。すなわち、土地開発プロジェクトが施行される場合の事業主体、事業形態について十分検討することにより、プロジェクトの企画案をさらに実現性の高いものとするのが重要である。また、土地開発プロジェクトにおいて事業としての採算性を検討することは、その実現性を考える上でも非常に重要である。

以上のような認識のもと、本研究では今後、事業マネジメントを先取的に検討・把握する必要があり、本サブシステムではこれを目指すことと

する。

## 7. おわりに

本研究では、計画地形設定方針についての整理を行うとともに、計画地形設計をハイブリッド型プロセスの構築を行った。これにより、計画検討が迅速かつ合理的に行うことが可能になった。さらに、基本計画段階において計画地形形状及び造成工事費等の計画支援情報を迅速に作成することが可能となったことより、今後の検討課題として取り上げた景観計画、事業マネジメント方法の検討も効果的に行えるものと考えている。

### 【参考文献】

- 1) 上山晃：土地開発プロジェクトプランニングのためのCADシステム化の開発研究—整地計画・設計からのアプローチ—、立命館大学大学院修士論文 1996.2
- 2) 阪急開発プロジェクトマネジメントシステム研究会：土地開発プロジェクトプランニングシステムの構築を目指して 1983.10
- 3) 寺田岳彦：大規模土地開発プロジェクト計画のための地形設計方法に関するシステム論的研究、立命館大学大学院修士論文 1997.3
- 4) 住宅都市整備公団：土木工事積算要領 1986.10

## Development Study of Computer-Aided -Design System for Land Development Project Planning Centering a Topographical Design

In this paper, the system development study for efficient plan of land development project. CAD system is based on the topographical design and the topographical design is obtained by solving hybrid optimization model, in which land use plan and topographical blocks are predetermined from viewpoints of the urban facility development project plan and construction planning.