

ニュータウン開発計画のための CADシステムについて*

A Study on Development of Computer-aided Design System
for Planning of Newtown Development Project

吉川 和広** 春名 攻*** 南 健志****
by Kazuhiro YOSHIKAWA Mamoru HARUNA Takeshi MINAMI

In this paper a study on development of computer-aided design (CAD) system for planning of newtown development project which aims to make planning works efficiently and effective are discussed as follows; in the first necessary conditions in developing CAD system are considered generally and in the second the CAD system design for planning of newtown development project which is being developed in this study are discussed from the view point of functional structure of CAD system being used for planning work. In the final some program-sysytems which are developed actually are explained in detail using practical application.

1. はじめに

近年の土地・宅地開発の状況は、土地所有者の根強い土地所有指向などを背景に、宅地開発に適したまとまった素地取得が困難となっている。また開発の際の関連公共施設の負担が増大しているため、宅地開発事業の採算見通しが悪化している。さらに宅地開発に対して地方公共団体の対応も高度成長期のようなニュータウン建設ラッシュ時代に比べて慎重となってきている。このようないくつかの側面から

判断しても土地・宅地開発状況が厳しい状況にあると考えられ、今後の土地・宅地開発を円滑に進めて行くためには、このような社会システムの、多様化・高度化への対応が必要と考えられてきている。すなわち、「職住近接」等のように街づくりとしての機能の多様性が求められてきていることや、シンボリックな施設・モニュメント設置のように魅力ある個性を備えた街づくりが望まれたり、さらには、高度情報化、高齢化、余暇化等の時代に対応した機能を備えることなどが求められてきている。これに対し都市の機能や施設を計画・設計する作業については、旧態依然とした手作業であるものが多いため、新たに要求される内容を十分に検討することが困難となっている。本研究では、まずこのような問題点を解決するためには、従来の手作業を中心とする作業体系を改良するだけでは不十分であると考えた。そして、近年発達の日まじしいコンピューターシステムを用いて、計画・設計作業を支援するために、コン

* キーワーズ：土地・宅地開発、CAD
数理計画モデル

** 正会員 工博 京都大学教授 工学部土木工
学科（〒606・京都市左京区吉田本町）

*** 正会員 工博 京都大学助教授
工学部土木工学科（同上）

**** 学生会員 京都大学大学院 工学研究科
修士課程（同上）

ビュターの処理能力を十分に活用した作業体系を編成すること、さらには、このような作業体系によって多様化、高度化が求められている土地・宅地開発に取り組んでいくことを考えて開発研究をおこなった。

以上のような考えのもとで、本稿では、まず土木プロジェクト計画をコンピュータで支援するCAD (Computer-aided System) 化のための考察を述べ、続いて土地開発における計画・設計作業の段階的整理について述べる。そしてCAD化するにあたってはどのような作業をコンピュータで支援していけばよいのかについて述べる。さらに、このような方針にもとづいて、コンピュータ支援された計画・設計作業を個別に述べることにとするが、ここでは現在までに開発したものの一部を紹介する。

2. CADシステムに関する考察

近年の情報処理機器の発達は、処理速度の面だけではなく、周辺機器やまたこれらの機器を扱うソフト面についても著しい発達が見られる。それにともない、各分野でCADと呼ばれるコンピュータ支援による設計システムが開発されている。しかし、従来開発されてきたCADシステムは、飛行機的设计や部品の設計等のように、比較的作業が定型化された分野に対して開発されたものが大半である。いま土木分野での設計作業をComputer-aided化することを考えるとき、土木で取り扱う対象物が1つ1つ異なった様相をもつため、不確定要因が多くてとても定型化されたものとして取り扱うことが困難であることを考慮しなければならない。このため、CAD

システムとして本当に機能させるためにはシステムがどのように構成されるべきかを、システム開発前に十分に考慮する必要がある。作業量が多くて作業内容が定型的である部分を迅速に処理したり、また作成された情報を視覚化してプレゼンテーションすること等はコンピュータの得意とすることであり、このような部分はコンピュータ導入による合理化・効率化のための効果が大きい。一方、計画内容に対し工夫やアイデアを盛り込んで作業を進める部分や、計画者自身の経験や勘に依存することが多い部分は人間の思考が受け持つべき範囲である。そして、このような作業に対しては、コンピュータの処理を施すことはどちらかといえば非効率的であり困難であると考ええる。

近年、土木の分野で開発されたCADシステムを見ると(コンピュータの得意とする領域)を対象としたシステムとなっているものが多く、あまり人間の思考の得意とする領域との連携を十分に考慮しておらず、真の意味でのCADシステムとなっているものは少ない。

本研究では、コンピュータシステムの適用のレベルを図-1のように3段階にわけて考えている。ここではまず単に人間の思考作業だけであるシステムを「Without Computer System」の段階とし、情報処理システムと人間思考の行為がむすびついた「Computer-supported System」の段階、そして設計作業そのものをコンピュータや情報処理機器の機能を活用する形に改編する「Computer-aided System」を最終的で高度な作業体系であると考え、これを先の「Computer-supported System」と明確に区別している。

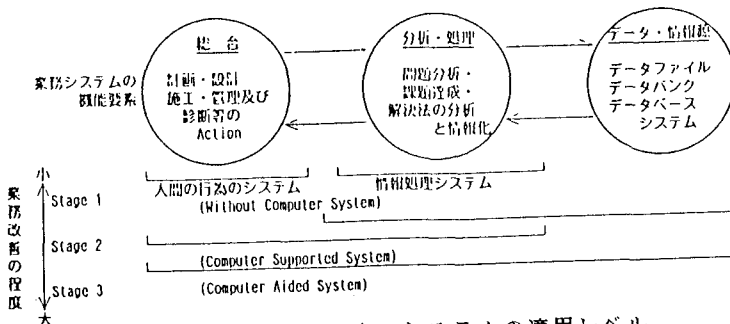


図-1 コンピュータシステムの適用レベル

本研究においてはこの「Computer-aided System」の機能を持つシステムを念頭においてCADシステムを以下にあげる機能を持つように開発していくこととした。

- ① コンピューターの処理能力を最大限に活用する形で、処理システムと計画者の間で逐次的な情報のやり取りを通して計画化の作業を進めるための対話型マンマシンシステムとすること、
- ② コンピューターの処理時間が計画者の検討行為（特に思考）を中断しないよう留意して効率化すること、
- ③ 3次元グラフィックス等を活用することにより出力情報を数値情報と共に用いて検討を進める形式とし、計画者が検討内容や成果を理解しやすい形で取り扱うこと、
- ④ 計画化の作業に使用するデータや成果にかかわる（入出力）情報をプールしておくことによって後の検討作業に取って必要な情報として取り出すことが可能なようにデータベースを完備しておくこと、

等々の機能を持つようにシステムを設計・構築していくこととした。

3. ニュータウン開発構想のためのCADシステムについて

上で述べたように、CAD化の概念をニュータウン開発構想に適用するためには、まずニュータウン開発がどのような手順で行われ、どのような計画・設計成果を得る必要があるのかを整理しておく必要がある。このような整理によって現在の問題点をあらいだした後にCAD化の課題を検討していくことが必要と考えた。

まず以下では宅地開発がどのような手順で行われていくかということを整理事ることとする。図-2には、現在「住宅都市整備公団」等で用いられている計画の段階を示した。この図にもあるように、計画は通常「基本構想」・「基本計画」・「基本設計」・「実施設計」という順で行われ、各段階を経るごとに詳細な計画検討が行われている。しかしこの図-2で示される方法では「計画」と「設計」の概念が明確に区別されていない。そこでこのような計画段階構成を計画論的な立場にもとづいて「計画」と

「設計」の概念が明確に区別し、開発プロセスを整理したものが図-3である。ここでは「計画」行為を、「設計出力情報のもとで機能的、形態的検討を加え、機能形態を（案として）確定する」行為とし、「設計」行為を、「計画案を図面上に具体的に表現することであり、計画段階の検討精度に応じて物的ディメンジョンを決定する行為」としている。

さて、このように計画過程をとらえて計画・設計作業の合理化を考えると、各設計段階の設計成果物（図面、工事数量等々）の作成を迅速化することも必要である。しかし、それ以上に計画初期の段階（図中フェーズ1）での計画検討方法の合理化・効率化が重要となることがわかる。これは、計画初期の段階はニュータウン開発全体の方向付けに関する検討が行われる段階であるため、ここでの検討成果がその後の計画・設計段階での枠組みとなると考えるためである。よって、この計画初期の段階でも、粗いなりにも何等かの設計成果物が求められることが必要となる。ここでは、このような計画初期の段階に対して、コンピューターの高度な処理能力を十分に活用し、計画・設計作業を合理化・効率化することとしているがこれによって計画設計内容の充実化をはかるとともに、後の段階での手戻りを防ぐという意味ももたせている。

さて、この計画初期の段階（構想計画段階）では、現地との対応において企画、内容・方針を具体的に示すものである。ここで新たな作業体系を再編する

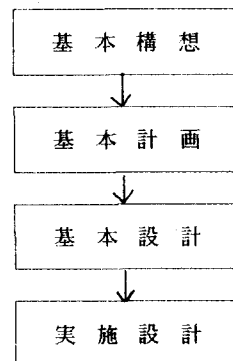


図-2 住宅都市整備公団における計画作成プロセス

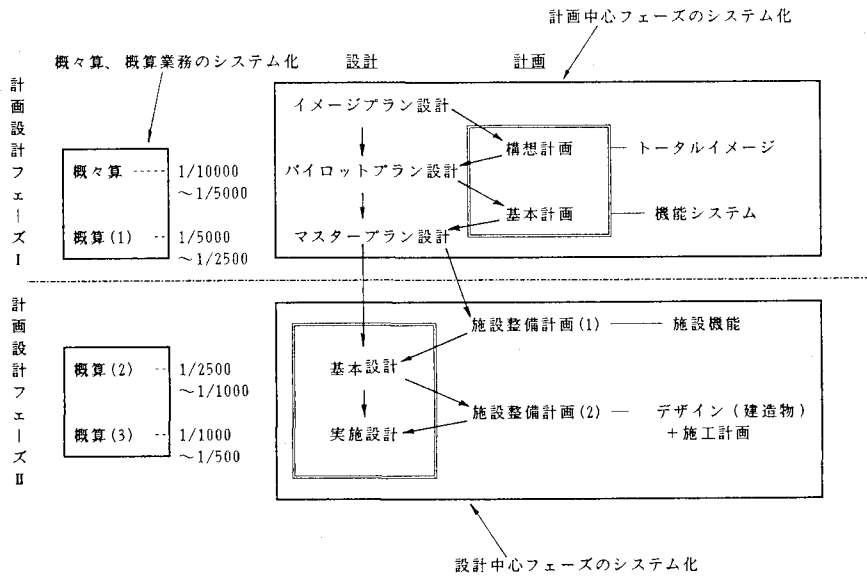


図-3 計画と設計の関連構造を考慮した計画プロセス

ためには、一部作業の迅速処理化だけにとどまらず構想計画全体を合理化・効率化するためにここではコンピュータを利用することによって作業量が軽減できるところは軽減させ、その結果として作業がスキップできるところはスキップさせるようにした。また、作業内容の関係でコンピュータ処理化できないような作業すなわち、景観の評価のように高度な人間の判断が必要とされる検討作業に対しては、その検討成果(中間段階の成果を含む)を視覚化したり、計画者が判断するために参考となるような情報を準備しておくこととする。これによって、計画者が総合的な判断を行いやすいようにしておくこととした。

このような方法によると、計画・設計成果の実行可能性さえ確保しておけば、計画者が望ましいと考えるバラエティーに富んだ計画・設計成果を得ることが可能となり、最適とはいわなくても、多方面からみて従来以上に満足できる案を作成することができるようになると考えた。

さて、以上に述べたような概念のもとでこのような作業体系をComputer-aided化するために造成地形の設計作業の迅速化が、キーポイントになると考え

られるが、その理由は次のようである。すなわち、従来の土地造成の設計作業は、計画者が土地利用計画を受けて原地形図を見ながら手作業で行われており、このため作業に費やす労力、時間が大きく地形代替案の検討については1~2種類しかできず、十分に他の可能性を検討することができなかった。そして、この作業をコンピュータの処理能力を用いて迅速化すると、単に設計作業時間や労力を大幅に短縮するだけではなく、各種の計画検討内容を具体化された計画地形の上で具体的に検討することが可能となる。これによって異なる計画地形案を迅速に作成でき、バラエティーに富んだニュータウン計画の検討が可能となると判断されるためである。

計画地形設計を迅速化するための要件には、計画地形そのものを視覚的に分かりやすく、かつ数学的にも簡単な式で表されるように定量化しておくことが、実体を認識する上で、またコンピュータを利用する上で必要なことである。その際、実行性のある計画地形設計を行うためには、設計変数が目的合理性にかなった設計を行えるようにしておかなければならない。

以上のようなことを考慮すると、地形設計をコン

ピューターを用いて処理化するためには、①地形を分かりやすい形で表示しておくこと、②地形設計の数理計画問題化を行うこと、等が課題であると考えられる。本研究ではこの2つの課題を数理計画モデルの中で取り扱うこととし、①を「計画地形表現モデル」、②を「計画地形設計モデル」とした。

しかし、構想計画作業全般を合理化するためには、上述のように計画地形設計をモデル化するだけでは不十分である。トータルな計画策定システムとするためには、この計画地形モデルを中心的に活用して、目的に沿って新たな作業体系を編成する必要があると考えられる。その概要を示すと図-4に示すように主として4つのフェーズで構成される。

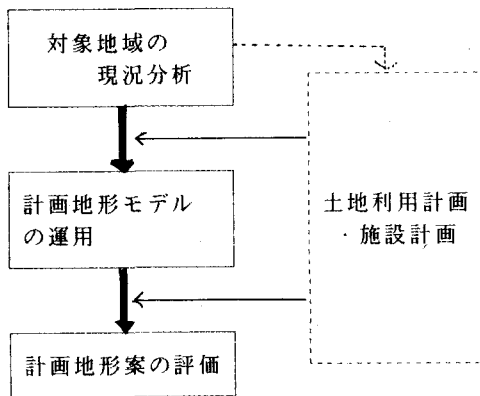


図-4 計画地形モデルを中心とする計画策定システムの機能構成

(1) 対象地域の現況分析

ここでは、対象とする地域の広域的な地域構造や地区的な諸条件（原地形の特性、法令区域等々）を整理し、計画者に対し分かりやすい形で情報提供するものである。計画地形設計モデルを活用して、計画作業全体を合理化・効率化するためには、この段階で原地形特性を特に十分に分析し、その分析内容を計画地形モデルを運用する上での入力情報という形に整理し、活用できるようにすることが必要である。

(2) 計画地形モデルの運用

計画地形モデルは地形設計問題を数理計画モデル化し、求解（設計案を求めること）を迅速化したものであるから、この点を十分に利用し、地形に対す

るアイデア（例えば景観をよくする等々）をパラメータに反映させたり、またパラメータそのものをパラメトリックに変化させることによって種々の計画地形設計案を作成する。このとき単に地形案を作成するためだけにモデルを運用するのではなく、この運用を通じて作成された地形を考察しながら望ましいと考えられる地形設計のための情報として取りまとめ計画・設計作業全般の合理化・効率化のために役立てるようにする。

(3) 土地利用計画・施設計画

土地利用計画・施設計画は、従来開発面積、計画人口や上位計画から決定されるものであるが、計画の実行可能性を確保するためには、具体的な造成地形に対してあてはめて検討することも必要である。そこでこれらの平面計画的な要素は、まず従来の計画策定方法の中に用いられている方法によって作成することとするが、つぎにこの内容を計画地形モデルによって設計された地形に割り付けていき、その内容を評価・検討する。

(4) 計画地形案の評価

まず、モデル出力結果（計画地形モデルによって設計された地形案）そのものに対し物的要素に対する評価を行うものを1次評価とする。この1次評価としては景観面・防災面・施工面からの評価が考えられる。さらに(3)で想定した土地利用計画案や施設計画を計画地形案に対して割り付けた場合に、機能面を中心とした評価を行うことを2次評価とする。この評価の段階では施設面、機能面からの評価だけではなく、さらに工事費の概算値も算出しておくことによって、計画・設計内容の実行性をより高い満足度で確保することも可能である。

4. システム開発における事例

先述した趣旨のもとで土地開発計画策定作業のComputer-aided化をはかるため、これまでにその中核部分を実際に開発した。以下各システムの概要とその適用事例を順に述べることにする。

(1) 計画地形モデル

先述したように計画地形の設計を迅速化するためには、①計画地形の表現の簡素化（計画地形表現モデル）と、②地形設計の数理計画のモデル化（計画地形設計モデル）等、が必要であるとのべた。まず、

過去において造成地形を表現とする形式はさまざまなものが開発されているが、①計画地形表現モデルの開発に関しては、図-5のようにスーパーブロックの面（幹線・準幹線道路で区切られる程度の敷地の面）を1単位として計画地形全体をこのような面が集まった多面体として表現することとした。

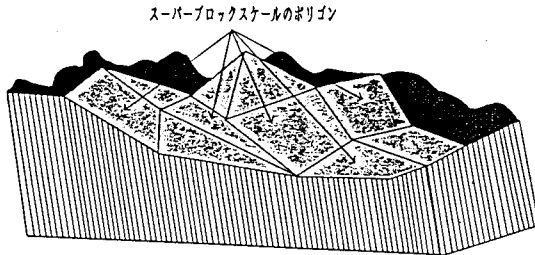


図-5 計画地形のポリゴンによるモデル表現

このとき、この計画地形表現モデルで表される計画地形は1次整地レベルの造成地形であると考えることができるが、このような表現形態は、イメージレベルである構想計画の段階で地形案のバラエティーを探るという目的にとって適当な大きさであると判断した。なお、この表現モデルにおけるスーパーブロックは、幹線道路ルートとともに原地形の分析結果をもとにして試行錯誤的に分割するものである。そしてこの分割に対する評価は、後のフェーズにおける1次評価、2次評価の場面で評価することとなる。ただし、このとき更に詳細なレベルの造成地形が必要とされるならば、この1次整地レベルの計画地形に対して手を加え、より詳細な（2次整地レベル）造成地形を作成することとする。

次にこの計画地形表現モデルをもとに地形設計に要求される内容を反映して、計画地形設計のモデルを数理計画モデルとして構築したものが計画地設計モデルである。このモデルにおいては、設計された計画地形案の実行性を確保するために各設計変数を目的

関数や制約条件として設定することとした。〔（ブロックの面積）×（重心点の標高差）〕によって表される体積をそのブロックの土工量とし、その総和を最小化することを目的関数としてモデルを設定した。この目的関数値（各ブロックの土工量の総和）が小さいということは、そのブロックで土工量をバランスすることができ、そして他のブロックへの土砂の移動が少なく、工事費の軽減の度合を表している。すなわち、計画内容とそれに対応する計画地形の利用に関する様々なアイデアを取り入れた様々な地形代替案を、最小の土工量となるような形状が求められることを保証しようとしている。

また制約条件に関しては、設計される計画地形の実現性を保証するため地形設計に要求される諸量が計画者の考える許容範囲内にあることを反映させることとした。すなわち、ここでは、地形設計に要求させる諸量として、①造成面勾配、②隣接する造成面の高低差、③幹線道路、の3諸元をとりあげた。

表-1は計画地形設計モデルを定式化したものである。

このように計画地形設計問題を数理計画モデル化したことによって、表-2のように制約条件の許容値をパラメトリックに変化させ、様々な計画地形を

表-1 計画地形設計モデルの定式化

目的関数	
造成地域全域の総土工量の最小化	
$V_{total} : S_1 Z_{G1} + S_2 Z_{G2} + \dots + S_n Z_{Gn} \rightarrow \min \quad \text{--- (3-1)}$	
n はブロックの数; S_i はブロックの分割時の面積	
制約条件	
① 切土量と盛土量のバランス	
$V_{balance} : S_1 Z_{G1} - S_2 Z_{G2} + \dots - S_n Z_{Gn} = 0 \quad \text{--- (3-2)}$	
S_k ($k=1, 2, \dots, n$) の係数の符号はブロックが切土(+1)、盛土(-1)による	
② 造成面の勾配の制約条件 《非線形式》	
ポリゴンの最大面勾配が一定値（与件パラメータ）以下	
$TK \leq \text{Const.} \quad (k \text{ はブロックの数}) \quad \text{--- (3-3)}$	
$TK = \tan \phi = \alpha (Z_1 - Z_0)^2 + \beta (Z_2 - Z_0)^2 + 2\gamma (Z_1 - Z_0)(Z_2 - Z_0)$	
③ 造成面高低差条件	
ポリゴン端点の高低差が一定値（与件パラメータ）以下	
$-\text{Const.} \leq H1 \leq \text{Const.} \quad (1 \text{ は段差の数}) \quad \text{--- (3-4)}$	
$H1 = (\alpha Z_{11} + \beta Z_{12} + \gamma Z_{16}) - (\alpha' Z_{J1} + \beta' Z_{J2} + \gamma' Z_{J6})$	
④ 幹線・準幹線道路の縦断勾配条件	
道路予定線の縦断勾配が一定値（与件パラメータ）以下	
$-\text{Const} \leq Gm \leq \text{Const} \quad (m \text{ は道路予定線の数}) \quad \text{--- (3-5)}$	
$Gm = \tan \delta = \alpha Z_1 - \beta Z_2$	
操作変数	
原地形の重心の高さと計画地形の重心の高さの差 (Z_{G1})	
道路予定点のZ座標 (Z_1, Z_2)	

表-2 地形条件の許容値による
 総土工量〔単位：万m³〕の変化

地区内 段差	境界部 段差	道路縦断勾配		
		4 %	6 %	8 %
3 m	1.5 m	※	932.2	891.6
	2.0 m	※	488.4	455.6
	2.5 m	※	402.9	350.1
	3.0 m	457.1	308.3	
5 m	1.5 m	※	881.6	837.1
	2.0 m	※	466.4	433.6
	2.5 m	544.8		
	3.0 m	433.2	287.7	236.7
7 m	1.5 m	※	828.0	786.4
	2.0 m	※	444.4	412.4
	2.5 m			
	3.0 m	409.6	266.1	214.7

注) すべて造成面制約値は30°のとき
 ※は、設計不可能であることを示す

表-3 制約条件値のパラメトリック分析結果

①	造成境界付近において安全性を高めようと低い擁壁を考えれば、造成工事に対してかなり大きな負荷を与える。
②	設計した造成面に対して、傾斜による土地利用の制約を避けるためには、境界付近で大きな法面処理を行うことが必要である。
③	設計速度の大きな幹線・準幹線道路を計画する場合は、造成境界部における小規模な法面処理を施すだけでは目的にかなうような設計はできない。

表-4 切盛土工量分布からのとりまとめ

①	どのブロック分割案でも一般に南東部分での盛土工量は大きな量となる。
②	ブロック分割では他の分割案に比べて運土量・運土距離が小さくなる。
③	対象地域北西部の標高150m～200m付近において平坦な地形を確保しようとすると開発地域全域に対して土工量・運土距離共に負担が大きい。

設計することができるようになった。この結果を取りまとめると、地形設計情報として表-3、表-4のように、従来の方法では得られなかった多様な情報が得られることがわかる。

(2) 現況分析

この分析をとおして、計画地形モデルを運用する際の原地形のブロック分割のための有効な情報を求めておく必要がある。そのため、原地形の分析の方針として、地形的なまとまりをブロックとして取り

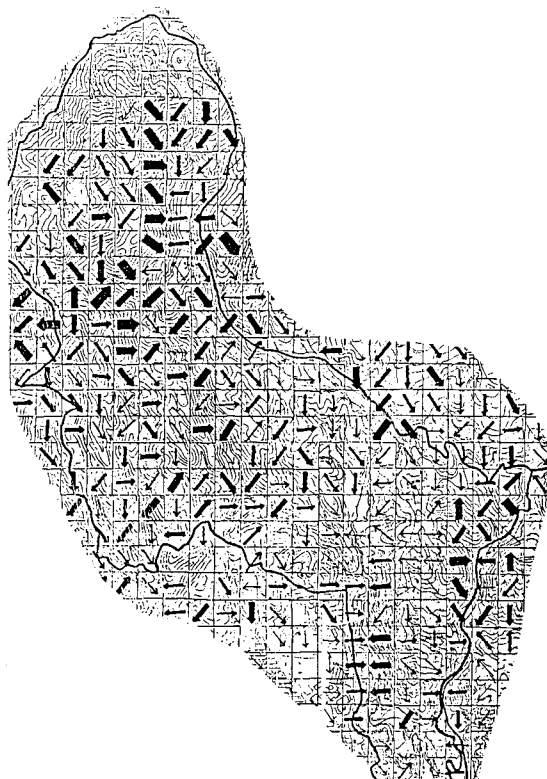


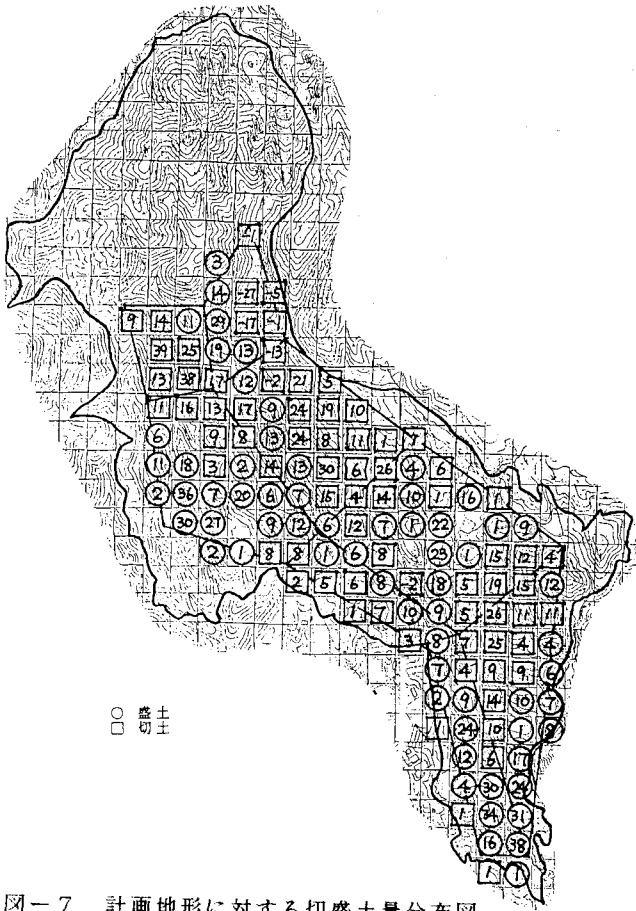
図-6 近似平面による原地形特性の分析結果

まとめ原地形に関する情報提示を行う必要がある。そこで、まず原地形の面を直方体ブロックの単位で表すこととし、原地形を最小自乗法により近似する。そして、このときのブロック表面の勾配の大きさを矢印の太さで、傾斜の方向を矢印の方向で表したものが図-6である。この分析図において、矢印の太さにより、急峻な地形になっている地区を把握できる。また、この図中の矢印の先が向かい合っているところが谷線であり、矢印が背を向けあっているところは尾根線であるのが用意に理解されるので、これを用いての、地形的なまとまりの把握が用意になりブロックを分割する際の判断に役立つ。

断情報を求めることができる。

5. おわりに

本稿では土地・宅地開発計画問題における検討作業体系のComputer-aided化を行う場合の方法について、計画論的な立場から考察するとともに、そこで重要な位置を占める計画地形設計のモデル化などの手法を述べた。さらに、ここで提案した計画策定方法にもとづいて考えられるシステムの構成を示し、開発したシステムの一部を発表した。今後は検討内容のプレゼンテーション機能や計画地形上に想定する施設に対する評価等々をシステム化していき現在の体系に取り入れるることにより、「総合的なCADシステム」として完備していくつもりである。最後に本研究をおこなうにあたり協力いただいた京都大学大学院齊藤博行氏に対して感謝の意を表します。



図一七 計画地形に対する切盛土量分布図

(3) 計画地形代替案の評価

このフェーズにおいては、1次評価の一つである“設計された計画地形案の施工性の評価”の方法を開発した。図一七は設計された計画地形案に対し、直方体の小ブロックごとに切盛土量を計算したものである。これをみると用意に理解できるが、一部に切盛土量が非常に大きくなっている部分を発見することができる。そこで、このような部分は2次整地などで修正する必要がある部分として他の部分と区別して扱うこととする。また逆に、切盛土量が僅かである部分に対しては原地形をそのまま保存するなどの方法を用いることも考慮される。このように、単に計画地形と原地形を重ねあわせるだけでも多くの判

参考文献

- 1) 吉川・春名・南：大規模整地における計画地形設計法のComputer-aided System化に関する実験的研究 第11回電算機利用に関するシンポジウム講演集, 1986年10月
- 2) 吉川・春名・南・齊藤：ニュータウンの計画地形設計における事前検討方法に関する研究 昭和62年度関西支部学術講演概要, 1987年4月