

数理モデルを利用した計画地形策定に関する事例研究

京都大学工学部 正員 吉川和広

京都大学工学部 正員 春名 攻

京都大学大学院 学生員○南 健志

1. はじめに

大規模土地造成をともなう土地宅地開発計画においては、開発対象地の自然状況を十分に尊重しつつも、「街」として必要な諸機能を充足させることが必要とされる。さらに近年では都市景観の面や職住近接化等の都市機能の面で従来の開発にはなかったものを取り入れようとしているため、計画初期の段階から多様な面より検討しておく必要がある。しかし、現在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は困難であると考えられる。このような状況の根本的解決をはかるためには、計画初期段階での検討の合理化・効率化をはかるためにコンピュータの処理能力を十分に活用して作業体系を再編する必要があると考えられる。このための第1段階として、本研究では土地・宅地開発の計画内容を具体化する作業での中心的な作業である「計画地形の設計」に対してこれを数理計画問題として定式化し、これを最適化手法を用いて求解する「計画地形モデル」を開発し、さらにこのモデルをツールとして計画検討作業全般の再編成をおこなった。本研究はこれらの基本部分の成果について取りまとめたものである。

2. 計画地形モデルの概要

従来の計画地形設計作業は、計画者が開発対象地域の地形図をみて、土量のバランスがとれるように切盛土量区域を設定していく方法がとられてきた。しかし、この方法では作業量が膨大であるために費やす労力・時間が大きく1～2種の地形案を作成しているだけでおわり、十分に他の計画地形を検討することは不可能であった。このような計画地形設計作業をコンピューターを用いて作業を迅速化・効率化する研究は従来より数多くおこなわれてきたが、これらの多くは手作業の負担の軽減を目的として行われたものが多く、設計内容を合理的に策定するという点では作業時間の短縮化の面でしか貢献していないと考えられる。そもそも、計画地形の設計の内容は宅地や上下水道などの各施設の位置や規模を設定する上での前提となる中心的な作業であるため、計画地形設計を合理的に設計するためには各施設設計を先取的に考慮して検討する必要がある。よって、本研究では計画初期段階での計画策定作業を目的合理的に検討することを目的として、計画地形設計方法の効率化を行うこととした。このためには、計画地形の設計成果が施設計画等の内容を検討できるように得られる必要がある。そこで、地形形状は数値的な取扱いが可能であるため、まず計画地形を数理的に簡単な形でモデル化した「計画地形表現モデル」を開発し、さらにこの計画地形表現モデルによって表わされる計画地形を目的合理的に設計するために数理計画問題として定式化して求解する設計作業をモデル化した「計画地形設計モデル」を開発することとした。

(定式化の詳細な内容は参考文献1)を参考)

(1) 計画地形表現モデル

計画地形表現モデルは図-1のように、造成面をスーパーブロックスケールのポリゴンとし

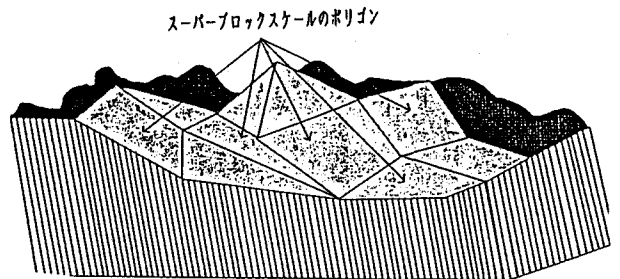


図-1 計画地形モデルのイメージ図

て、そして主要道路、大規模な法面をポリゴンの辺とするように各要素を非常に大きなスケールで表現した。これは、計画初期の段階では個々の住宅地や街区の道路のような小さいレベルの検討を行うのではなく、計画地形上におおまかなスケールでさまざまなアイデアを盛り込み計画内容を具体化していくレベルの検討であるからであるため、計画地形設計についても造成区域や造成面の方向・勾配等の形状や幹線道路ルートを設定していくことが必要だと考えたためである。なおその他の計画地形設計モデルの特徴としては、造成面と主要道路・大規模法面を同時に設計できること、計画地形を単純化して表わしているために鳥瞰図などで表現したときに計画地形を把握しやすくなっていること、さらに道路などの各要素を数量化して簡単な形で表わすことができること、等々である。そして実際にこの計画地形モデルを適用する際には、現況地形の分析結果をもとに造成対象地に対して、計画地形表現モデルの表現単位としてのブロックを十数個分割する。

(2) 計画地形設計モデル

つぎに計画地形表現モデルをもとに、計画地形設計に要求される内容を反映して設計作業を数理計画モデルとして開発したものが表-1に示す計画地形設計モデルである。本モデルにおいては、計画成果の実行可能性を確保するために、計画地形設計に必要な設計変数の要件を目的関数や制約条件として定式化している。すなわち、造成工事費の低減を想定して各ブロック単位での土工量の総和を最小化することを目的関数とし、土量バランス、造成面勾配、造成面高低差、主要道路縦断勾配の許容地をパラメータとする制約条件を設定する。するとこの問題は非線形計画問題となり、探索的な手法を用いて解を求めることができる。

3. 計画地形設計モデルの運用に関する実証的検討

先述したように本研究の目的は計画初期における計画策定方法を合理的に行うことではあるので、ここで開発した計画地形モデルを計画策定のためのツールとして活用し、計画策定作業全般を合理化していく必要がある。本研究においてはこの計画地形モデルを中心とした計画検討システムの概念設計を図-2のように行ないその中核部分を実際に開発した。

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	
$- \text{Const.} \leq H1 \leq \text{Const.} \quad (1 \text{ は段差の数}) \quad \text{--- (3-4)}$	
$H1 = (\alpha Z_{11} + \beta Z_{12} + \gamma Z_{10}) - (\alpha' Z_{J1} + \beta' Z_{J2} + \gamma' Z_{J0})$	
④ 主要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	
$- \text{Const} \leq G_m \leq \text{Const} \quad (m \text{ は道路予定線の数}) \quad \text{--- (3-5)}$	
$G_m = \tan \delta = \alpha Z_1 - \beta Z_2$	
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)	

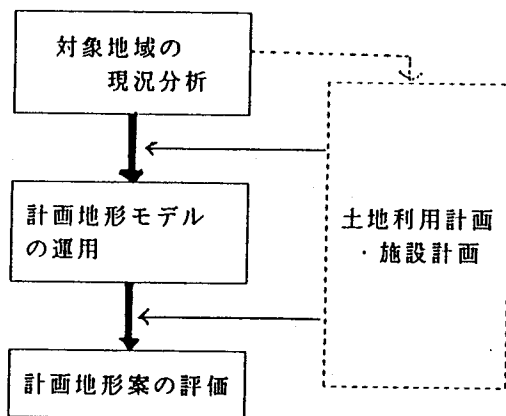


図-2 計画地形モデルを中心とする計画策定システムの機能構成

(1) 対象地域の現況分析

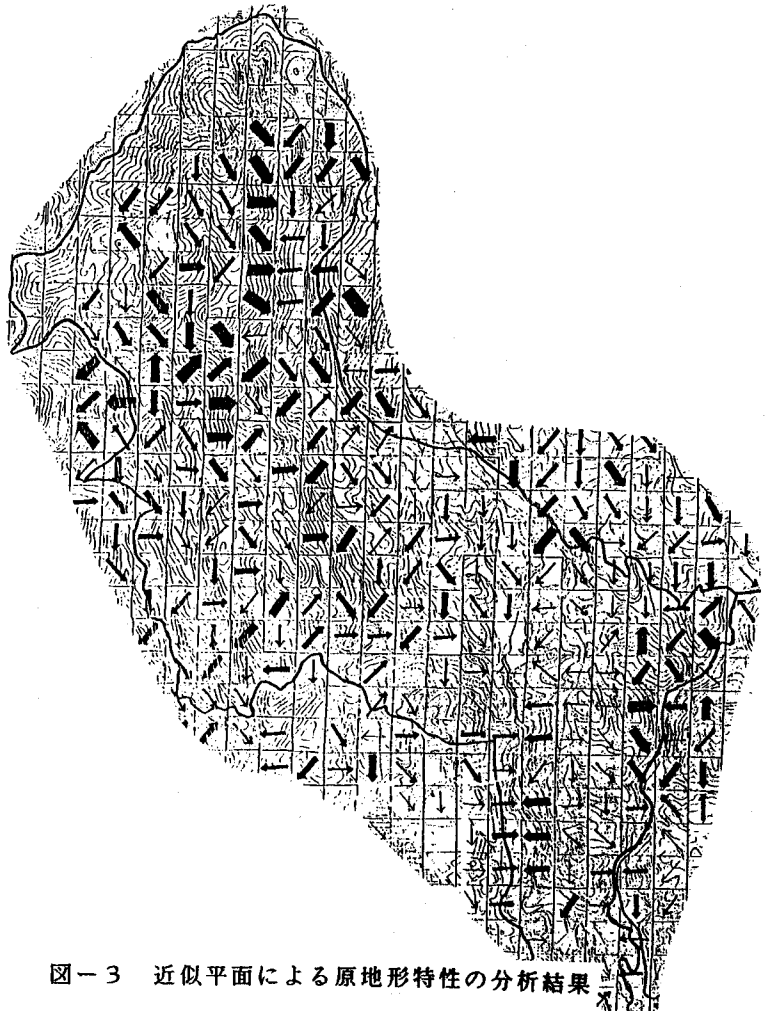
ここでは、対象とする地域の広域的な地域構造や地区的な諸条件（原地形特性）を整理し、計画者に対し分かりやすい形で情報提供するものである。計画地形モデルの活用のためには、原地形特性を特に十分に分析し、その分析内容を計画地形モデルを運用する上での入力情報という形に整理していくことが必要である。本研究では対象地域の原地形の勾配・方向を原地形の勾配・方向を100m四方の正方形を近似し、これを図一3のようにあらわした。これにより地形の特性が容易に把握できるものと考えられる。

(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たものであるから、地形設計でのアイディア（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（表一2）。そして、このときは単に地形案を作成するためだけにモデルを活用するのではなく、制約条件の許容値のパラメトリックな変化に対して設計された計画地形を考察し、地形設計のための情報として表一3のように取りまとめることも可能となる。

(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。そこで計画地形モデルの結果を活用し、まず従来の計画策定方法で作成された内容を設計された地形に割り付けていき、その内容を評価・検討することと



図一3 近似平面による原地形特性の分析結果

表一2 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	15 m	※	932.2	891.6
	20 m	※	488.4	455.6
	25 m	※	402.9	350.1
	30 m	457.1	308.3	
5 m	15 m	※	881.6	837.1
	20 m	※	466.4	433.6
	25 m	544.8		
	30 m	433.2	287.7	236.7
7 m	15 m	※	828.0	786.4
	20 m	※	444.4	412.4
	25 m			
	30 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

する。

(4) 計画地形案の評価

計画地形モデルを活用した計画検討のためには、都市機能・施設を想定した計画地形に対して評価を行なうことが必要である。このためにはまず、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1次評価によって選別した地形案に対して、(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て、活動面から見た評価を2次評価とする。この2段階の評価によって最適とまではいえないが、たいへん高度な満足が得られ、かつ実行可能性の高い計画案をとりまとめることができると考えられる。現在、1次評価の1つとして計画地形と原地形を重ねあわせ、土工量を算出したものが図-4であり、この図などより計画情報として取りまとめたものが表-4である。

4. おわりに

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「総合的なCADシステム」として完備していくつもりである。最後に本研究を遂行するにあたり協力いただいた京都大学大学院斉藤博行氏に対して感謝の意を表します。

表-3 造成のための計画情報

- | | |
|---|--|
| 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。 |

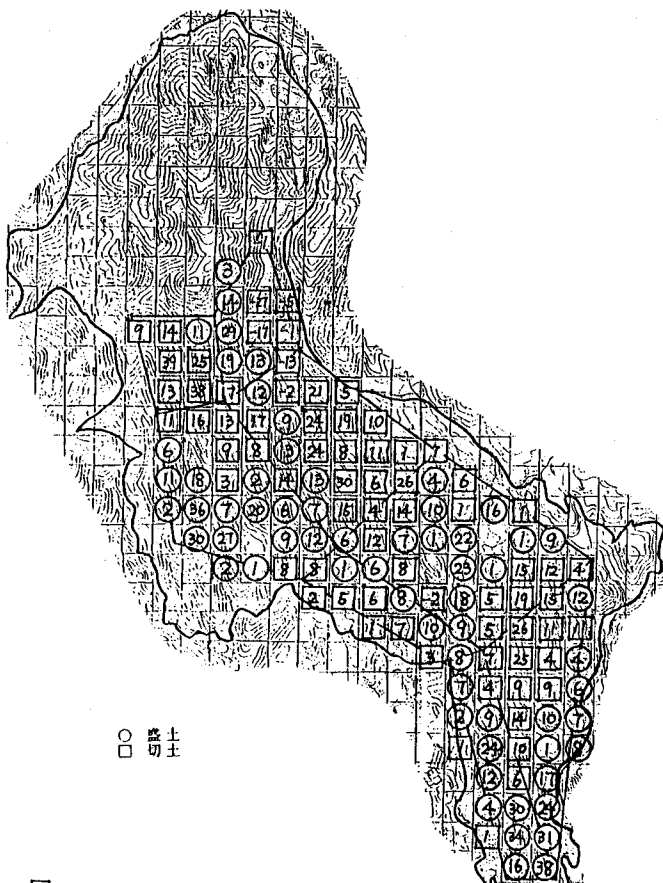


図-4 設計された計画地形に対する切盛土量分布図

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・斉藤：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

表-4 切盛土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量は大きな量となる。 |
| ② | ブロック分割案の種類によって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。 |