

ニュータウンの計画地形設計のための数理計画モデルの開発研究

— Computer-aided System化を目指して —

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. 研究の目的

ニュータウン開発のプランニング段階では、検討すべき事項が多種多様にわたって存在し、また開発する地域ごとに地形条件や開発方針が異なるために計画者の経験に依存することが多く、確立した検討方法は見られない。その上煩雑な作業が多いため作業そのものに時間・労力を費やしてしまい、十分な検討が行われているとは言えない。このため、従来の計画策定方法を根本的に改善するためには、コンピュータシステムの導入により計画策定作業の効率化を促進することが重要である。そして、その高度な処理能力を十分活用するように作業体系を再編成し、従来の方法よりもよい計画が行えるComputer-aidedな計画策定システムを構築することが必要である。ここで現在の作業体系での「計画地形の設計作業」をみると、計画地形が工事計画や施設計画の与件であるにもかかわらず、作業量が莫大であったため、地形の形状をあれこれ変化させながらどの地形が望ましいかを検討することは不可能であった。これに対し本研究では、地形代替案の迅速な作成を中心とした作業体系の再編成をめざすことを目的とし、ここではまず必要となる「計画地形の設計作業」のための数理計画モデルの開発を行ったものである。

2. 計画地形モデルの基本構成

新しい作業体系においては開発方針（イ

メージ）の具体化の方法が大きな目的であるため、検討のためには大きな検討単位により概略的に具体化を進めていくこと合理的であると考えた。そこで地形を表現する「計画地形表現モデル」では、個々の住宅画地や地区内道路を設計するような詳細な詳細なモデルではなく、図-1のように構成単位のスケールが大きいモデル、すなわち道路網を幹線・準幹線程度で表現し、また画地をスーパーブロック程度の大きさのポリゴンで表現することによって、操作もしやすく視覚的にもわかりやすいモデルとした。また作成した地形案を比較検討して計画の具体化を進めるためには、諸々の造成諸量は、概略的ではあっても実現可能な地形がモデルで設計されることが必要である。よって計画地形設計のモデル化（計画地形設計モデル）では、望ましい地形諸量（面・道路勾配、造成面高低差等）が求められるような数理計画モデルを定式化して、最適解（最適な計画地形）を求めることとした。

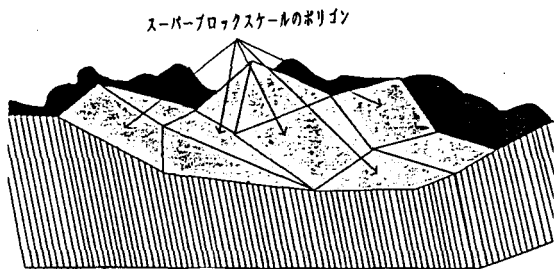


図-1 スーパーブロックスケールのポリゴンによる計画地形表現のイメージ図

Kazuhiro YOSHIKAWA Mamoru HARUNA Takeshi MINAMI

3. 計画地形モデルの定式化

(1) 計画地形表現モデル

・計画地形表現モデルでは数量化を容易にするために、造成面をポリゴン（多角形）で、道路・擁壁に相当する部分はポリゴン間の辺として表現する。さらに図-2のように表現すると、ポリゴンの重心と道路予定線の両端の標高を与えれば、造成面と幹線・準幹線道路を同時に決定できるので、効率的・合理的な計画地形設計が可能となると判断した。

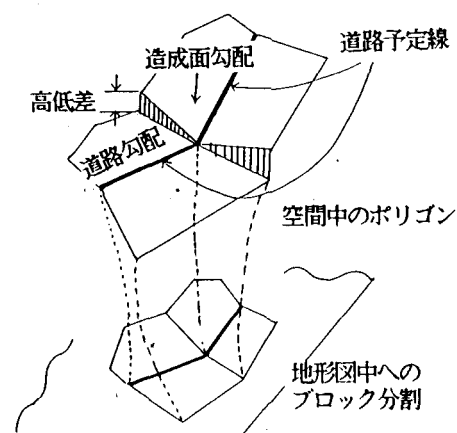


図-2 計画地形表現モデルによる地形形状の表現

このポリゴンは、対象地域を十数個に分割したブロック（スーパーブロックスケール）を作成したものに对应させた。このため、ブロック分割は幹線道路ルート計画や造成計画を含む作業であり、その分割方法は計画地形そのものに大きく影響する。これらのことを考慮して、ここではブロック分割を以下の手順で行うこととした。

① 幹線・準幹線ルートの決定：対象地域の形状を分析し、地形特性を明らかにするとともに、この分析より得られる情報にもとづき、勾配・曲率が無理なく設計されるルートを試行錯誤的に決定して地形図上

で折れ線形状として設定する。

② ブロック分割：現況分析結果をもとに、地形的なまとまりを見つけ、①で決定した幹線・準幹線ルートの線分が一辺となるようなブロックを試行錯誤的に作成する。

これらの、道路ルートとブロック分割は平面計画案を充足する形で試行錯誤を行うものであり、システムとしてはその結果を評価するためのデータ・情報が即時的に求められるように配慮しておく。また、土工量に関しても、分割したブロックを基本とした。すなわち、あるブロックの切盛土工量を図-3にみられるような角柱の体積として表現する。この算出方法の土工量とは、あるブロック内で土量の収支がつかずに他のブロックに搬入・搬出する土量（ブロック間土工量）になり、これは運土工事も含めた造成工事量の状態を間接的に表現する量であると考えた。

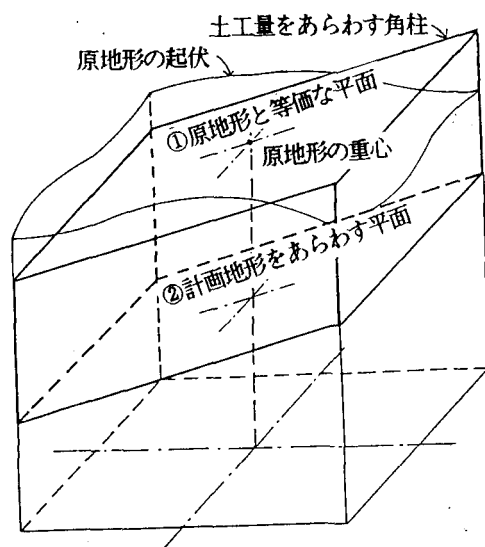


図-3 計画地形表現モデルによる土工量の表現

(2) 計画地形設計モデル

各地形形状を表す諸量を数式的にも簡単

な形で表現すると、表-1のように地形設計を数理計画モデルとして定式化することが可能となる。以下この定式化の概要について説明する。まず工事そのものにできるだけ安価な事業費で実施することが求められているので、設計内容を評価する尺度については造成工事費の低減を反映するために対象地域の総土工量（モデルではブロック間土工量の総和）をとり、これを最小とすることを目的関数（式3-1）とした。また同時に対象地域内で切土量と盛土量がバランスすることも必要であると考え、これを数理計画モデルの制約条件として定式化（式3-2）した。さらに造成面の勾配・造成面の高低差・道路の縦断勾配のような地形形状を表す量を計画地形表現モデルを用いてあらわし、その許容値をパラメータとする制約条件値として定式化（式3-3～式3-5）した。

このモデル式は、操作変数 z_{01}, z_1, z_2 に関する非線形問題となっているが、このままでは初期実行可能点を見つけることが困難で、変数・条件式の数も多い等の理由で一般に開発されているような求解アルゴリズム手法を適用することは困難である。このため、この問題独自の求解アルゴリズムを開発した。その概要は、①制約条件がない場合の目的関

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	
$V_{total} : S_1 z_{01} + S_2 z_{02} + S_3 z_{03} + \dots + S_n z_{0n} \rightarrow \min \quad \text{--- (3-1)}$	
n はブロックの数； S_i はブロックの分割時の面積 z_{0i} は原地形の重心の高さと計画地形の重心の高さの差	
制約条件	
① 切土量と盛土量がバランス	
$V_{balance} : S_1 z_{01} - S_2 z_{02} + S_3 z_{03} + \dots - S_n z_{0n} = 0 \quad \text{--- (3-2)}$	
$S_k (k=1, 2, \dots, n)$ 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	
ポリゴンの最大面勾配が一定値（与件パラメータ）以下	
$TK \leq \text{Const.} \quad (k \text{ はブロックの数}) \quad \text{--- (3-3)}$	
$TK = \tan \phi = \frac{a^2 + b^2}{c^2}$ $= \frac{LG_2}{c^2} (z_1 - z_0)^2 + \frac{LG_1}{c^2} (z_2 - z_0)^2 + 2 \frac{LG_{12}}{c^2} (z_1 - z_0)(z_2 - z_0)$	
z について非線形式 a, b, c はポリゴンの法線ベクトルの成分 $LG_1 = (x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2$ $LG_2 = (x_2 - x_0)^2 + (y_2 - y_0)^2$ $LG_{12} = (x_1 - x_0)(x_2 - x_0) + (y_1 - y_0)(y_2 - y_0)$ $c^2 = \{(x_1 - x_0)(y_2 - y_0) - (y_1 - y_0)(x_2 - x_0)\}^2$	
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	
$-\text{Const.} \leq H_1 \leq \text{Const.} \quad (1 \text{ は段差の数}) \quad \text{--- (3-4)}$	
$H_1 = z_i - z_j$ $= (\alpha z_{11} + \beta z_{12} + \gamma z_{10}) - (\alpha' z_{j1} + \beta' z_{j2} + \gamma' z_{j0})$	
$\alpha(\alpha') = \frac{-(x_2 - x_0)(y_0 - y_0) + (y_2 - y_0)(x_0 - x_0)}{(x_1 - x_0)(y_2 - y_0) - (y_1 - y_0)(x_2 - x_0)}$	
$\beta(\beta') = \frac{-(y_1 - y_0)(x_0 - x_0) + (x_1 - x_0)(y_0 - y_0)}{(x_1 - x_0)(y_2 - y_0) - (y_1 - y_0)(x_2 - x_0)}$	
$\gamma(\gamma') = \frac{(y_1 - y_2)(x_0 - x_0) - (x_1 - x_2)(y_0 - y_0)}{(x_1 - x_0)(y_2 - y_0) - (y_1 - y_0)(x_2 - x_0)} + 1$	
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	
$-\text{Const.} \leq G_m \leq \text{Const.} \quad (m \text{ は道路予定線の数}) \quad \text{--- (3-5)}$	
$G = \tan \delta = \frac{1}{L} z_1 - \frac{1}{L} z_2$	
L : R_1 と R_2 の x, y 平面上の距離	
操作変数	
ポリゴンの重心点のZ座標(z_0)、道路予定点のZ座標(z_1, z_2)	

数を最小（0となる）にする点（ $z_{0i}=0$ ）を出発点として、②目的関数式や制約条件式の微分係数をもとに目的関数の改悪値を最小としつつ制約条件の値を改善していく探索をおこない、③全ての制約条件を満足す

る解を求める、ということである。このような工夫により複雑な非線形計画問題を容易に（しかも逐次的に）解くことが可能となり、計画地形を迅速に設計することが可能となった。

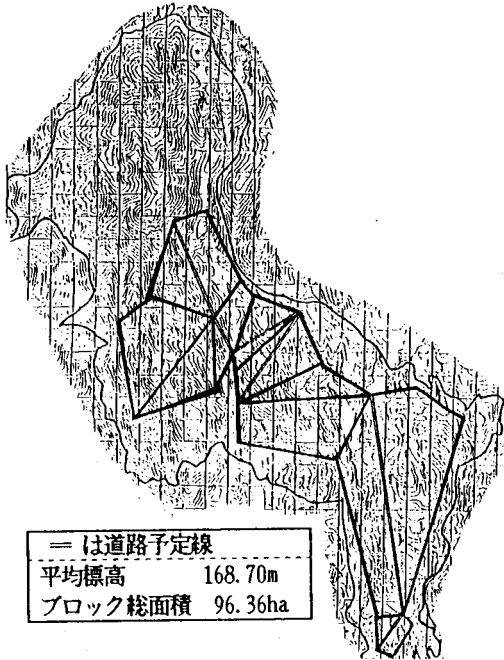


図-4 造成予定地に対するブロック分割

表-2 地形条件の許容値による
総土工量〔単位：万 m^3 〕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

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。

4. 実際の地形への適用例と今後の課題

ここで実際の造成予定地域に対して、図-4のようにブロック分割して計画地形設計モデルを適用した。ここでは、種々の制約条件の許容値をパラメトリックに変更した結果、総土工量がどのように変化するかを求め、これを表-2に示した。ここでの適用結果を利用すると、表-3に示すように造成方針に関する計画情報として取りまとめることができた。このような方法を用いると、従来の計画方法とは異なった合理的な計画策定システムの構築が可能であると考えられる。今後は、この計画地形設計モデルの活用を前提に、さらにどのようなシステム化を進められるかを検討し、最終的には望ましい機能を備えたComputer-aidedなシステムを構築する予定である。

最後に共同研究者の京都大学工学部齊藤博行氏に対し感謝の意を表します。

参考文献) 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

62年度 関西支部講演集 1987年4月