

立命館大学工学部
立命館大学大学院 (博)
J R 西日本 (株)
立命館大学大学院
立命館大学工学部

正会員 春名 攻
学生会員 滑川 達
正会員 川上俊幸
学生会員 大村健太
学生会員 ○ 高 智愛

1. はじめに

近年、居住地開発事業に対する住民のニーズ・要求は多様化・複雑化の傾向が著しい。一方、事業者は居住地開発を進めるにあたり、住民側の様々な要求に応えることに加え、採算性を確保するための事業効率性の追求が重要な課題となっている。そのため、事業構想計画案策定においても、多角度からの検討が必要となってきた。そして、このような計画検討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ため、事業構想計画案策定を高度に支援する、迅速かつ効率的な方法論開発が従来にも増して重要となってくると考える。(図1参照)

そこで、本研究では、居住地開発事業の構想案策定システム開発の新たな試みとして、従来から構想策定作業において、作業量の増大等で問題となっていた計画地形設計作業に着目し、地形表現にスプライン関数を用いた計画地形設計モデルの構築を行った。そこでは、計画地形設計を非線形数理計画モデルとして定式化し、迅速に多様な地形代替案の設計を可能としている。これにより、土地利用計画・施設整備計画等を含めた形で、総合的な観点からの計画検討が可能となるとともに、多様かつより実行性が高い計画地形設計のための方法論開発を目指した。

2. システム化の必要性

本研究においては、次のような観点から居住地開発事業構想計画のためのシステム化を図る必要があると考える。

①居住地開発事業構想計画案策定における一連のプロセスにおいて、各業務体系の相互の関係を明らかにし、個々の検討作業について、多面的な検討・評価を加えたシステム構成とする必要がある。その上で、個々の検討作業システムの役割を明確化し、その役割にあった作業システムの構築を行なうことが必要である。

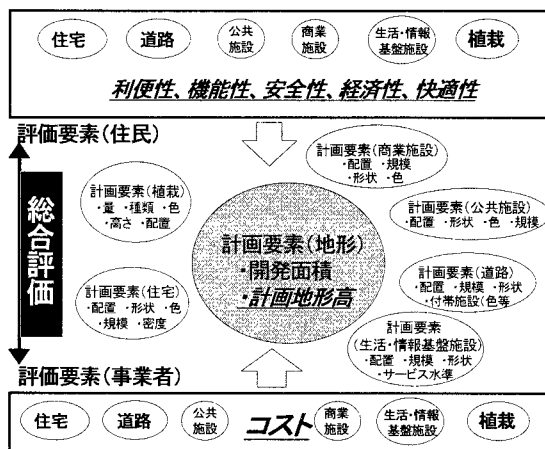


図1. 居住地開発プロジェクトにおける検討項目

②居住地開発事業の基本構想段階における地形設計作業においては、3次元的な視点から、開発後の地形形状や施設配置問題などを先取的に検討し、設定された計画地形の目的合理性を確保する必要がある。また、建設施工段階における検討を概略的に行い、計画地形の実現可能性を確保しておく必要がある。さらに、造成方針設定作業は、迅速に、より多数の代替案について、比較検討を行うことが必要となるため、システム論的に系統立て整理し、Computer-aided な形でのシステム開発が望ましい。

③居住地開発事業の計画検討作業においては、トップダウン的なアプローチのみならず、社会ニーズに対応するための検討・評価や、工事实施の施工機械の施工性を考慮したボトムアップ的なアプローチによる検討・評価が必要である。また、開発費用面の目的合理性を確保した計画地形案を迅速に作成するためのシステム構築が必要となる。

以上のような考察をもとに、本研究では、居住地開発事業計画の計画案策定プロセスを合理的・効率的に進めるために、計画検討作業において作業労力

の負担が大きい検討項目や迅速な処理が必要な検討項目に対し、視覚的な情報を伴った計画支援情報を提供し、計画者の意志決定や適切な判断を促す検討システムの構築を目指した。

3. 計画地形設計モデルの定式化とその解法

(1) 計画地形設計モデルのためのモデル開発に関する考察

本研究では、構想計画段階の計画案策定作業として、計画地形設計を中心とした計画案策定方法を採用した。このようなアプローチをとった理由を整理すると以下のようなものである。

- 1) 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こと
- 2) 居住地開発の開発事業費のなかで比較的変動の激しい土地造成費が計画地形により直接影響を受けるということ
- 3) 計画地形を設計する際、土工移動が少ない区域を指定することは計画者の経験と勘にたよっているため、望ましい結果を得る確証がないこと
- 4) 造成計画の各作業が手作業で行われていることが多いため、作業量の膨大さから多様な代替案の検討が行えないこと

このように、計画地形の設計作業が多くの問題点を含んでおり構想計画段階における計画策定に際し計画者に大きな負荷を与えているため、この計画地形設計作業を合理化・高速化するとともに、これを業務システムの中核として再編成することにより、数多くの代替案の比較・検討を通した、より効果的な計画策定が可能となると判断したのである。

(2) データ形式に関する考察

本研究では、ラフな原地形形状データ（ここでは80mごとの格子線に囲まれた対象地）をスプライン関数で補間する事により、細かい原地形形状（ここでは20mの格子線）の表現を可能とした。これにより、データ入力に際する作業量の低減化を実現している。また、計画地形についても、同様のアプローチにより、計画変数の減少につながっている。

図2には、20mメッシュでとった実際のデータ、図3には、80mメッシュのデータをスプライン関数により補間し、20mメッシュごとのデータ点で表した地形曲面の表示を示した。

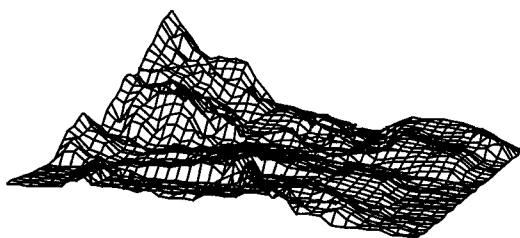


図2. 20mメッシュの地形データ図

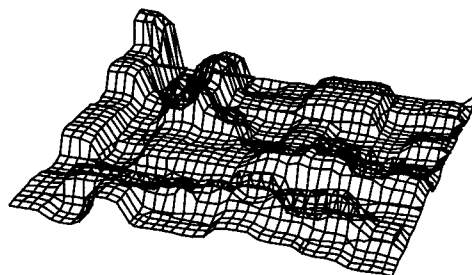


図3. スプライン補間により、80mメッシュデータから、20mごとに求めた地形データ図

なお、本研究で採用したスプライン関数（Bスプライン）の内容を簡潔に示せば、以下のようなものである。 $(k-1)$ のスプライン関数 $s(x)$ は、一般にBスプラインを基底とする1次結合、すなわち $s(x) = \sum_{i=1}^n \alpha_i B_{i,k}(x)$ で表せる。このスプライン関数は、与えられたデータ点を満足するように係数 $\alpha_i (i=1,2,\dots,n)$ を決定することによって得られる。これを、3次元に拡張するには、一般に助変数 θ, t を用いて、

$$x(\theta, t) = \sum_i \sum_j \alpha_{i,j} B_{i,k}(\theta) B_{j,l}(t)$$

$$y(\theta, t) = \sum_i \sum_j \beta_{i,j} B_{i,k}(\theta) B_{j,l}(t)$$

$$z(\theta, t) = \sum_i \sum_j \gamma_{i,j} B_{i,k}(\theta) B_{j,l}(t)$$

と表せ、 $\alpha_{i,j}, \beta_{i,j}, \gamma_{i,j}$ を求め、上式に代入すれば、曲面の補間が可能となる。なお、詳細なアルゴリズムについては、紙面の都合上割愛する。

本研究では上記で示した、スプライン関数を用いて補間した原地形高・計画地形高を以下のようなマトリックスデータとして定義し、表現する事とした。
—原地形高表示—

・ $A=80$ mメッシュの原地形の格子点 i, j の高さ

$\{a_{ij}\}$ を要素とする行列を表す。

Aを本研究で採用したスプライン関数を用いて20mメッシュBに補間する。

・B=20mメッシュの原地形の格子点 u, v の高さ

$\{b_{uv}\}$ を要素とする行列を表す。

ー計画地形高表示ー

・E=80mメッシュの計画地形の格子点 i, j の高さ

$\{e_{ij}\}$ を要素とする行列を示す。

Eを本研究で採用したスプライン関数を用いて20mメッシュFに補間する。

・F=20mメッシュの計画地形の格子点 u, v の高さ

$\{f_{uv}\}$ を要素とする行列を表す。

(3) 計画地形設計モデルの定式化

以下においては、計画地形高を計画変数とともに、運土費用最小化を目的とする地形設計モデルの定式化を示す。すなわち、原地形の前提条件の整理から得られる土地利用に関する制約条件を考慮し、構想計画案の造成に対する基本方針を入力すること、建設施工計画段階を先取りした土量配分計算と、その結果にもとづく運土費用の積算を内含する形での、運土費用の最小化をここでの目的としている。これは、後述する土量バランス等の制約条件を満たした形での計画地形案を設計するものであり、図4に示す手順でモデル分析を行い、運土費用をパラメータとして操作することにより、多様な計画地形案の検討を行う。

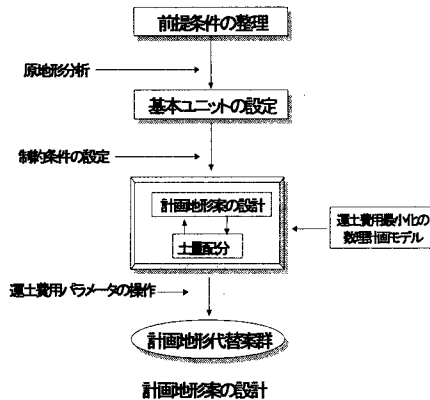


図4. 計画地形案の設計手順

Minimize

$$TC(E) \rightarrow \text{Min} \quad (3.1)$$

TC : 運土費用

E : 計画地形高

Subject to

$$\left| \iint_{x_1, y_1}^{x_n, y_n} \{OS(x, y) - PS(x, y)\} dx dy \right| \leq \varepsilon_1 \quad (3.2)$$

ε_1 : 許容土量

$$\max \left| \frac{\partial PS(x, y)}{\partial x} \right| \leq h_n \quad \max \left| \frac{\partial PS(x, y)}{\partial y} \right| \leq h_n \quad (3.3)$$

OS : x_v, y_v の原地形高

PS : x_v, y_v の計画地形高

h_n : ブロック群の補間関数の傾き最大値

$$M_{uv}^{\min} \leq PS(x, y) \leq M_{uv}^{\max}$$

$$M_{uv}^{\max} : \text{最大計画地形高} \quad (3.4)$$

$$M_{uv}^{\min} : \text{最小計画地形高}$$

ここで、制約条件(3.2)は、切土量と盛土量のバランスが許容土量以下となるようにしたものである。制約(3.3)は、ブロック内の高低差に限度を設けたものである。ブロックごとに、地形近似関数の傾きに制約を与えることとした。制約(3.4)については、計画地形の設計において、実際の造成工事を想定した場合、原地形と計画地形高の差は工事の実行可能性から考えても、一定の上限値と下限値が必要であることから、設けた制約条件式である。

(4) 計画地形設計モデルの解法

計画地形設計モデルの解法としては、まず、ペナルティ法を用いて、(2)で定式化した計画問題を拡張目的関数として記述し直すことにより、制約なし最適化問題へ変換するとともに、この問題をコンプレックス法を用いて以下の手順で解くこととする。

①初期実行可能解 E^k ($k=0$) の設定、コンプレックス法の特性上、初期解を実行可能なものを設定する必要がある。

②コンプレックス法による方向ベクトル d_i^k (k は任意の回数) の設定

③一次元探索法によりステップ幅 α の決定

④次の E と成り得る E 全て $E^{k+1} = E^k + \alpha \times d_{ij}^k$
により求め、目的関数値 $TC(E^{k+1})$ の計算を行う。

⑤ $E^{k+1} = \text{Min}\{TC(E^{k+1})\}$

⑥ E^{k+1} の最適性の判断

$$\{TC(E^k) - TC(E^{k+1})\} \leq \varepsilon_2$$

上式を満たさない時、 $k = k+1$ として、再び、解の探索を行う。

上式を満たす時、解の探索を終了し、最適解である、 $TC(E^{k+1})$ を得ることができる。

(5) 目的関数値 $TC(E)$ の算定方法

① E からスプライン関数を用いて、 F を求める。

② ある領域 G (ここでは 20m メッシュを採用)

に対する二重積分 $V_{uv} = \iint_G \{OS(x, y) - PS(x, y)\} dx dy$

により、各メッシュの土量の算定を行う。そして、以下でおこなう土量配分のために、次のような方法により、切土部のメッシュと盛土部のメッシュとの判別を行う。すなわち、 $V_{uv} > 0$ のとき、 $V_{uv} = K_s$ (K_s は切土部のメッシュ s の土工量) で、 $s = s+1$ として次のメッシュの算定を行う。また、 $V_{uv} < 0$ のとき、 $V_{uv} = M_t$ (M_t は盛土部のメッシュ t の土工量) で、 $t = t+1$ とし、次のメッシュの算定を行う。

③ K_s 、 M_t の各ブロック間の距離・勾配を求める。

④ 距離・勾配より、予め設定しておいた標準的機械の組み合わせ表よりブロック間の機械選定を行う。そして、機械選定により各ブロック間の土工事費用単価 c (円/ m^3) を作成する。

⑤ 土工事費用単価表を用いて、以下の定式化の下、土量配分問題を解く。

Minimize

$$C = \sum \sum AV_{st} \times C_{st} \rightarrow \text{Min}$$

$AV_{st} : K_s, M_t$ 間の土工量

$C_{st} : K_s, M_t$ 間の土工事費用

Subject to

$$\sum AV_s = l_s, \quad \sum AV_t = m_t \\ |\sum l_s - \sum m_t| \leq \varepsilon_1, \quad AV_{st} \geq 0$$

AV_{st} : s, t 間の配分土量、 l_s : 切土 s のメッシュ土量

m_t : 盛土 t のメッシュ土量、 s : 切土メッシュ番号

t : 盛土メッシュ番号

よって、 $TC(E) = C$ を得る。

4. モデルの適応事例に関する評価の考察

本研究で開発したシステムにおいては、代替案ごとに以下に示すような計画情報を算定することも可能なシステムとなっている。

①概略土工事費用 ②切り土平面率

③平均勾配 ④法面面積

本研究では、上述の算定項目のほかに図4にあるように運土費用をパラメータとすることで、より多くの代替案の策定を可能とした。なお、本研究では開発した地形設計モデルを滋賀県甲南町において、実証的検討を行っているが、結果については、紙面の都合上、発表時に示すこととする。

5. 今後の課題

今後の方向としては、4で述べた算定値をパラメータとして検討するとともに、本研究で算出した地形に、施設・道路・植栽を施し、CGを用いた整備イメージを作成し、反応実験を行う事を考えている。それにより、図1に示した各項目間の関連性を検証していく。また、本モデルの土工事費用をより現実的なものとするために、施工シミュレーションを組み込んだ形でシステムとしての再構築を行っていく。さらに、最終的には、住宅用途決定方法や施設配置決定方法なども取り込み、より総合的な居住地開発計画案策定のための検討ツールの開発を行う。

参考文献

1. 市田浩三、吉本富士市：スプライン関数とその応用、教育出版株式会社、1979、6。
2. 高岸実良：ニュータウン開発構想策定作業のシステム論的研究、京都大学大学院修士論文、1991、3。
3. 玉井大吾：大規模土地開発プロジェクトの合理的実施のための計画CADシステム構築に関する方法論的研究、立命館大学大学院修士論文、1998、2