

計画盤モデルを用いた造成計画の研究

A STUDY ON THE EARTH DESIGN BY USING LAND MODEL

浜 嶋 敏 一 郎*

By Koichiro HAMAJIMA

1. ま え が き

大規模な土地造成計画では、1つの土地造成計画案を作成するのに、造成コンター図とそれについての土工量計算、さらに土工量バランスさせるための修正作業を試行錯誤によって行っている。ここで、設計者は頭に描いた造成計画イメージが土工量バランスや造成勾配条件について満足しているかどうかを知るために相当の時間を費やしている。限られた時間内で多くの造成計画案について検討するためには、機械的な作業を電算機によって処理することが必要となる。

電算機による土地造成計画案の自動設計は、数年前から進められていたが、それによって作成された土地造成計画案をそのまま実施計画案として利用するにはいくつかの問題点がある。よく知られている計算方法として、丸安・村井^{1)~3)}らによる土地造成の最適解を求める方法がある。これは、よりよい計画高を決定するための基礎資料となるが、その計算結果から実施計画案を作成するには手作業による修正が必要である。たとえば、計算上で生じる部分的に急な造成コンターの修正や切盛法面の範囲の決定を行わなければならない。そして、修正された計画案については再度土工量計算が必要となる。また、近年宅地開発の増大に伴って開発用地は、平坦地または緩やかな丘陵地からやや急な丘陵地にまで及んでおり、切土高や盛土高が 30m 以上にもなるような開発が増加している。これは最小自乗法によって最適解を求めているが、計画対象地を平坦な地形に変更するとき、このような勾配の急な地形を取り扱おうと、繰り返し計算の回数が増加し、計算時間が増加するばかりでなく、先にも述べた切盛法面と造成平面との境界も不明瞭になる。したがって、この計算方法の適用範囲はかなり限定されるものである。さらに自動的に決定された最適解と設計

者の造成計画イメージとが異なる場合にはかなりの修正を必要とする。

本論文では、これらの問題点を解決し、計算結果がそのまま実施計画案として利用できるような自動設計の手法を提案する。この手法は、一般的な手作業による設計過程、つまり、設計者が造成計画イメージに沿って順次地形図に造成コンターを表わしていく過程と同様な方法で造成計画高を決定していく方法である。設計者は、造成計画イメージをデータとしてインプットすればよく、あとは自動的に土工量バランスするような計画高の決定と土工量計算が行われる。したがって、最適解を求めるものではないが、設計者の造成計画イメージを正確に反映させることを目的としているために、修正作業はほとんど必要なくなった。また、自動的に土工量バランスさせるのに比較的単純な計算方法を用いるため、適用範囲も広く、計算時間も短い設計方法である。

さらに、この設計方法による造成計画案はそのまま実施計画案として使用できるので、その造成計画高のメッシュデータを用いて、宅地内道路計画における幹線道路や準幹線道路の縦断線形を自動的に計算する方法についても論じている。

2. 計画盤モデルによる土地造成の設計

(1) 基本的な考え方

まず、本論文で提案する計画盤モデルを用いた造成計画の基本的な考え方、つまり、設計者の造成計画イメージ（以下計画イメージとよぶ）を電算機に反映させるための前提条件について述べる。

丘陵地における造成形式は、大きく分類すると、① ほぼ平坦にする全面的な造成形式、② 地形に即したひな段造成形式、③ 自然を部分的に保存する造成形式、がある。

* 正会員 工修（株）大林組

造成計画の段階で、どのような造成形式を用いるかを決定する要素としては、計画区域の地形形状、現況植生、開発の基本構想等がある。造成計画案を作成する設計者は、土工量バランスを考慮しつつ、総合的な判断によって、造成計画のイメージづくりを行い、試行錯誤によって造成計画案を作成する。ここで、採択された造成形式は、上記で大別された形式となるか、あるいはそれらを組み合わせた形式となる。

そこで、造成形式別に設計者の計画イメージがどのようにして反映されているかを、1つは造成によって変更された等高線で表わされる造成計画盤の形状と、あと1つは、造成計画盤が切土部分だけで構成される切土計画盤や盛土部分だけで構成される盛土計画盤が、造成形式によってどのように分布しているかについて考察する。

全面的な造成形式による造成計画案では、造成コンターを概観すると、ある範囲内で平面的あるいは曲面的な形状をしており、これらの部分的な計画盤を小計画盤とよぶとすれば、造成計画盤全体は、いくつかの小計画盤の組み合わせによって構成されている。そして、各小計画盤は、スムーズに接続している場合や、数メートルの高さの法面によって不連続に接続している場合がある。これは、設計者が計画イメージを表現するのに簡単な幾何学的形状を用いていることを示している。また、計算処理上の理由で、小計画盤が切土部分だけあるいは盛土部分だけとなっているかについて検討する必要があるが、この形式の場合は、造成境界周辺を除くと現況地形に関係なく造成されるため、小計画盤は切土部分と盛土部分の混合したものとなる。

次に、ひな段造成形式による造成計画案は、現況地形の形状をいくぶん残しつつ、平面的あるいは曲面的な斜面の小計画盤の組み合わせによって構成されている。造成面積的には、全面的な造成形式とたいした相違はないが、各小計画盤の斜面勾配を小さくするため、法面によるひな段造成となる。

最後に、自然を部分的に保存する造成形式による造成計画案は、屋根を切ったり谷を盛ったりして山の中腹を保存する形式、あるいは尾根の保存や谷の保存という形式のために、比較的切土計画盤と盛土計画盤とが別々に計画されることになる。そして、この形式もやはり平面的形状の計画盤となることが多い。さらに、現況地形によっては、20メートル以上の長大法面も随所に計画されることが多い。

以上の考察により、設計者は次のような手順で造成計画案を作成するものと考えられる。

- 1) 現況地形を認識する。
- 2) 地形形状、現況植生、開発基本構想等によって造成形式を決定する。

- 3) 全体の造成計画イメージを頭に描く。
- 4) 造成計画イメージをその造成形状によっていくつかの部分に分割する。
- 5) それぞれの部分で簡単な幾何学的形状をした小計画盤を作成する。
- 6) 各小計画盤を円滑に接続させたり、不連続な境界を決定する。
- 7) 造成部分と現況部分の境界を明らかにする。
- 8) 造成コンター図を作成して土工量計算を行う。

そこで、著者は、計画盤モデルという幾何学的形状をした小計画盤をモデル化したものによって、造成計画案の作成方法を提案する。この方法は、造成計画盤について以下の条件を前提としている。

- 1) 造成計画盤は、いくつかの計画盤モデルの組み合わせによって作成する。
- 2) 計画盤モデルは、任意の範囲で作成できる。
- 3) 計画盤の高さを決定する方法としては、切土計画盤だけ、あるいは盛土計画盤だけの計算と両者が混合した計画盤の計算がある。
- 4) 計画盤モデルの連続性は、適当な計画盤モデルを接続させることによって満足される。
- 5) 計画盤モデルは、切盛法面の計算も同時に行う。

手作業による造成計画案の土工量バランスについては、切土量と盛土量がバランスするまで、盤高を適当に変更して土工量計算を繰り返している。切土量と盛土量の差が少ない場合は、数回の繰り返し計算によって計画盤が決定されるが、造成計画案によってはその差が非常に大きいこともあり、計画イメージを変更するときもある。

そこで、ここで提案する方法も、手作業による計画高決定の過程と同様に、切土量と盛土量の差が、ある程度少ない場合には、計画イメージを損わないように自動的に土工量をバランスさせ、一定の限度を越える場合には、計画盤モデルの条件を変更したり、計画イメージの変更をすることによって造成計画案の作成を行うようにしている。

(2) 準備作業

土地造成計画案の作成は、土地造成計画区域を適当な間隔の正方形格子に分割したメッシュデータを使用する。設計の準備作業としては、計画区域、あるいは、その周辺を含んだ現況地盤高のメッシュデータを作成する。それとともに、メッシュを書き込んだ地形図の縮小版を作成する。設計者は、この縮小図面を手元において計画イメージを作成し、入力データの作成、および修正を行う。

設計者は、地形図に描かれた計画イメージを、後述す

る計画盤モデルに当てはめて、計画盤モデル別にその範囲をブロック分けする（これを、“計算ブロック”とよぶ）。それと同時に、計算ブロック内の計画高決定の方法を指定する。また、各計算ブロックに、切盛法面が付随している場合にはその指定を行う。

(3) 計画盤モデル (図-1)

計画盤モデルは、計画イメージを構成するものである。現在、次に示す8種類の計画盤モデルがある。

- 1) 平面計画盤：計画盤の形状が平面である。この平面を決定する要素としては、斜面勾配、斜面方向、基準点の座標がある。
- 2) 放物線断面計画盤：計画盤の形状は斜面方向の断面が放物線となるものである。この要素としては、斜面方向、基準点の座標、基準点における接線勾配、それと基準点から放物線頂点までの距離がある。
- 3) 曲面計画盤—その1：計画盤の形状は、等高線が等間隔の同心円を描く円錐形の一部をなすものである。

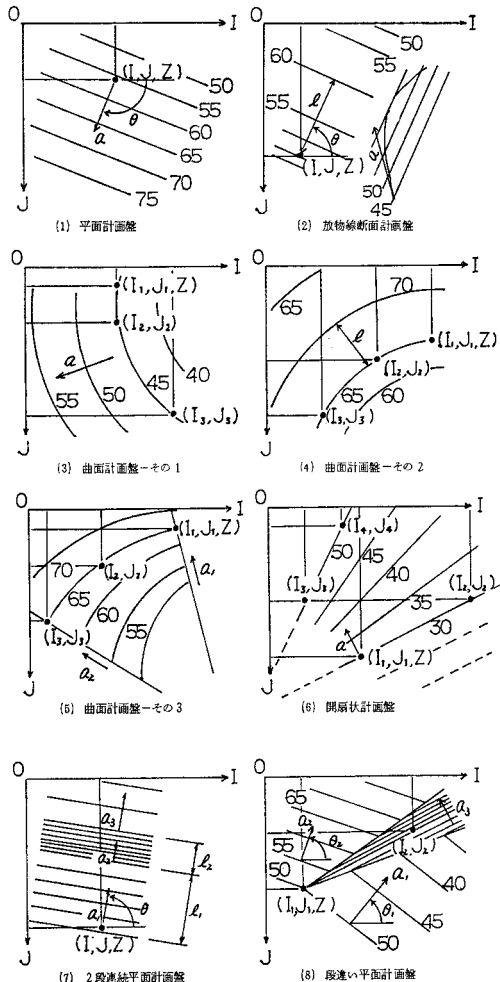


図-1 計画盤モデル

この要素としては、基準となる円弧の等高線を決定する3点の座標と斜面勾配がある。

4) 曲面計画盤—その2：この計画盤は、3)の計画盤の斜面方向の断面が、2)と同様に放物線形状をしたものである。この要素としては、基準となる円弧の等高線を決定する3点の座標、基準点における接線勾配、それと基準点から放物線頂点までの距離がある。

5) 曲面計画盤—その3：この計画盤は、ある円弧形状をした等高線の軸方向の斜面勾配が、円弧の一端から一端まで線形変化するような曲面形状をしたものである。これは斜面方向、斜面勾配が異なった平面計画盤を接続させるときにも利用できるものである。この要素としては、基準となる円弧の等高線を決定する3点の座標、円弧両端の斜面勾配がある。

6) 開扇状計画盤：この計画盤は、ちょうど扇を水平に広げたときの折れ目の線が、等高線の形状となるようなものである。これも、斜面方向、斜面勾配の異なった平面計画盤を接続させるときに利用するものである。この要素としては、最高、最低の等高線を決定する4つの基準点の平面座標とどちらかの等高線の標高、基準点における勾配がある。

7) 2段連続平面計画盤：この計画盤は、斜面方向が同一の2つの平面計画盤が、任意の水平距離と勾配をもつ造成法面で接続されているものである。これによって入力データを減少させることができるし、任意の位置での法面計画が可能となった。この要素としては、斜面方向、平面計画盤のそれぞれの斜面勾配、法面勾配、基準点の座標、基準点から法面までの水平距離、法面の水平距離がある。

8) 段違い平面計画盤：この計画盤は、斜面方向と斜面勾配が異なる2つの平面計画盤が、任意の勾配をもつ造成法面によって段違いに接続されているものである。この要素としては、2つの計画盤が接する基準点の座標と、平面計画盤のそれぞれの斜面方向と斜面勾配、法面勾配がある。

計画イメージは、いくつかの計画盤モデルが連続して構成されるが、計算上、その連続性を満足させるためには、次のようにすればよい。

斜面方向や斜面勾配の異なる平面計画盤を接続させるには、曲面計画盤—その3、あるいは、開扇状計画盤を用いることは、先に述べた。それと、基準点の与え方である。基準点は、計算ブロックの範囲に関係なく任意のメッシュポイントを指定でき、特にz座標(標高)は任意の標高値を入力するか、特定の指定によって、指定されたメッシュポイントにおける現況地盤高、あるいは先の計算ブロックで決定された計画高を基準点とすることができる。したがって、計画盤を連続させる場合には

3 番目の方法を用いる。

(4) 計画高決定の方法

計画盤モデルの計画高決定の方法は、自然を部分的に保存する造成形式の計算を考慮して、次の3種類の計算方法がある。

各計算方法とも、現況地盤高データと指定された計画盤モデルのデータを、計算ブロック内のおおのメッシュポイントで比較したときの処理による。

1) 計算ブロック内の盛土となる部分だけを計画盤とし、切土となる部分は、現況地盤のままとする盛土盤計算(図-2)

2) 計算ブロック内の切土となる部分だけを計画盤とし、盛土となる部分は、現況地盤のままとする切土盤計算(図-3)

3) 計算ブロック内の計画盤モデルの標高をすべて計画盤とする混合計算

盛土盤計算と切土盤計算は、現況地盤と計画盤の境界を正確に計算するとき、また、切盛法面の自動計算を行うときに用いる。このとき、計算ブロックは、計画盤の範囲より広くする必要がある。

このとき、各計算ブロック別に、切盛法面を含んだ土工量と造成面積が計算される。

このほかに、計算ブロックでは計算されないような細部の計画高については、各メッシュ点の標高の置換を行って補正できるものとした。

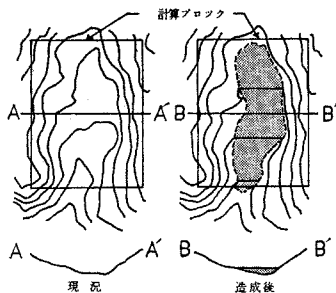


図-2 盛土盤計算

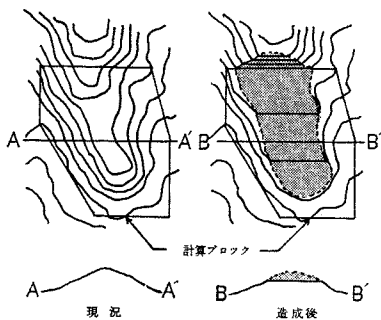


図-3 切土盤計算

(5) 切盛法面の自動計算

これは、平面計画盤についてだけであるが、盛土盤計算では盛土法面、切土盤計算では切土法面の自動計算ができる。計算ブロックの境界を、それぞれの場合の法肩、法尻に一致させ、その指定を行うと、任意の法面勾配で法面の計算を行う。この場合、手作業による計画作業と同様に、法面が計画区域の境界を越えるごとに、法肩、あるいは、法尻の位置を平行移動して、法面が計画区域内に入るような修正も行うことができる。

(6) 計画イメージに沿うシミュレーションモデルの作成

全体の計画高決定は、次の数量的制約条件を満足させるものとする。

1) 全体土工量のなかで、切土量と盛土量がバランスしている。

2) あるいは、搬出、搬入の土工量を含めた場合の全体の土工量がバランスしている。

計画区域を m 個の計算ブロックに分割し、 i 番目の計算ブロック (i 計算ブロック) の盛土量、切土量をそれぞれ、 V_{Bi} , V_{Ci} , i 計算ブロックの計画盤モデルの基準点の標高を z_i , 斜面勾配を、 a_i , b_i 斜面方向を θ_i とするとき、盛土量、切土量は、次のように表わされる。

$$1) \text{ 盛土量} : V_{Bi}(z_i, a_i, b_i, \theta_i) \dots \dots \dots (1)$$

$$2) \text{ 切土量} : V_{Ci}(z_i, a_i, b_i, \theta_i) \dots \dots \dots (2)$$

そこで、数量的制約条件は、一般形として、

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^m V_{Bi}(z_i, a_i, b_i, \theta_i) + V_0 \\ & = -f \cdot \sum_{i=1}^m V_{Ci}(z_i, a_i, b_i, \theta_i) \dots \dots \dots (3) \end{aligned}$$

となる。

ここで、 V_0 は、搬出入土工量、 f は、切盛変化率である。

さて、全体土工量をバランスさせるには、式(3)を満足させればよいが、これには z_i, a_i, b_i, θ_i の4つの変数を変更する必要がある。しかしながら、ここでは、 z_i, θ_i は、入力値を変更せずに、 a_i, b_i の変更によって、式(3)を満足させることにした。

この理由は、基準点と斜面方向は、設計者の計画イメージと深い関わりがあるということと、斜面勾配の微小変更の方が、計算処理するのに便利であるからである。

そこで、土工量を表わす目的関数は、式(4)となる。

$$\begin{aligned} F = & \sum_{i=1}^m V_{Bi}(a_i, b_i) + f \cdot \sum_{i=1}^m V_{Ci}(a_i, b_i) + V_0 \\ & \dots \dots \dots (4) \end{aligned}$$

土工量バランスさせるには、式(4)で、 a_i, b_i を、逐次補正して、 F を0に近づければよい。

このシミュレーションモデルでは、造成勾配条件についてまだ触れていなかったが、この段階で、この問題についての考え方を述べる。

土地造成計画では、道路を切り離して考えることはできない。したがって、作成された計画盤は、道路勾配を満足することが必要である。これに対しては設計者のイメージは、当然のことながら、これらの条件を満足しているはずなので、入力する計画盤の斜面勾配は、道路勾配を満足したものである。したがって、計算によって土工量バランスした段階の計画勾配と入力勾配の差がある範囲内にあれば、造成勾配条件は満たされるものと考えられる。

そこで、計画勾配が入力勾配よりかなり大きくなったり、小さくなったりする場合、土工量の差、つまり F の値の絶対値が単位面積当りにしてかなり大きいということなので、ある上限値をもって、土工量バランス計算を行ったり、ストップさせたりすることにしている。この上限値は、一応単位面積当り 1m としている。これによると、計画勾配と入力勾配の差は、1% 程度である。

また、土工量バランスの収束条件は、単位面積当り 1cm としている。

さて、土工量バランスの自動計算の方法について述べることにする。

入力データによる土工量は、各計算ブロックごとに求められ、 F の値が収束条件を満足しないとき、斜面勾配の逐次補正を行う。 F の値は調整土工量として、各計算ブロックの土工量に比例して割り振られる。各計算ブロックでは、割り振られた土工量を満足するような斜面勾配を逐次近似法によって求める。逐次近似値を求めるには、まず、入力勾配 a_i, b_i に補正值 $\Delta a(t)$ を加えて、仮の逐次近似値を

$$a_i = a_i + \Delta a(t) \dots\dots\dots (5)$$

$$b_i = b_i + \Delta b(t) \dots\dots\dots (6)$$

と補正し、仮の土工量計算を行う。ここで、補正值 $\Delta a(t)$ は、 $\Delta a(t) = 0.5 \div t$ であり、初期値 0.5% で、繰り返し計算回数 t ごとに小さくなる値である。この仮の逐次近似値によって増減した仮の土工量と割り振られた土工量との比 α を求めると、逐次近似値は、

$$a_i = a_i + 0.6 \times \alpha \times \Delta a(t) \dots\dots\dots (7)$$

$$b_i = b_i + 0.6 \times \alpha \times \Delta a(t) \dots\dots\dots (8)$$

となる。ここで、0.6 については、式 (4) を単調に収束させるための係数である。これは、地形形状によっては、勾配の補正量 $\alpha \times \Delta a$ によって増減する土工量と割り振られた土工量が、単純に一致しないことと、他の計算ブロックと連続して計算されるものはその影響もあるため、大幅に調整土工量を上回ることもあり、 F が振動することがあるからである。

もう一つ、逐次近似値についての条件として、 a_i, b_i の符号は、入力時の符号と変わらないようにしている。たまたま、0% に近い斜面勾配をもつ計画盤があって、逐次補正によって符号が変わってしまうと、斜面方向が 180° 変わってしまうことになるので、斜面勾配の絶対値の最小値は、0.1% としている。

このようにして、繰り返し計算をつづけ、 $F=0$ となる斜面勾配 a_i, b_i を求める。

3. 計算結果

(1) 計算に用いた現況地形

図-4, 5 は、プロッターによる計画地の等高線図と鳥瞰図である。この計画地は、メッシュ間隔 25m で 40×45 のメッシュの現況データを作成した。計画地の面積は約 70 万 m² で、標高は、最低 60m, 最高 200m である。中央に大きな尾根が北から南に伸びている。その尾根の西側にやや広い谷、東側に狭い谷があり、南端で一緒になっている。中央の尾根と周囲の山腹は、25度以上の急な斜面となっている。

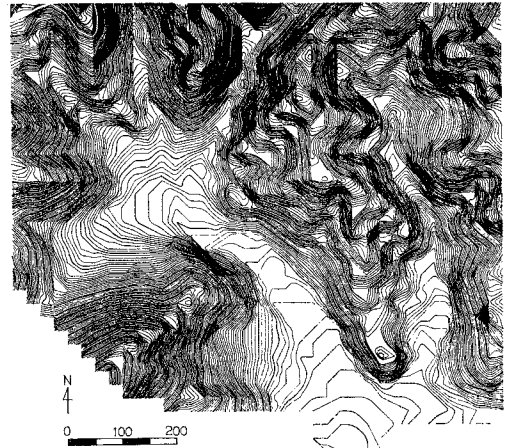


図-4 現況地形 (等高線図)

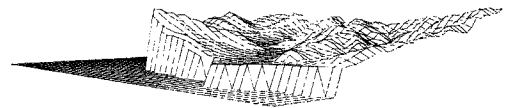


図-5 現況地形 (鳥瞰図)

(2) 計算例—その 1

写真-1 は、ラインプリンターによる計画盤の等高線図 (縮尺 1500 分の 1) を縮めたものであり、図-6, 7 は、プロッターによる計画盤の等高線図と鳥瞰図である。プロッターによる図面は、計画盤データをテープにとり、等高線プログラムと鳥瞰図プログラムによって作

図したものである。計算された計画盤が、計画イメージとどのような相違があるかを知るために図面化が必要であるが、プロッターによる等高線プログラムは、計算時

間、および作図時間が長い。一方、ラインプリンターによる等高線は、メッシュ間隔 20 m, 25 m で、それぞれ、1 200 分の 1, 1 500 分の 1 程度の図面となり、精度的にプロッターに見劣りしないばかりでなく、計算時間は、1/30~1/50 である。したがって、検討時に、ラインプリンターでアウトプットし、計画盤データを保存しておく、計画案決定後、プロッターによって作図を行っている。

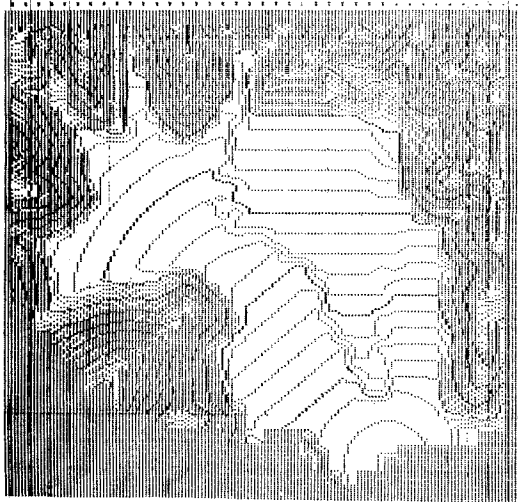


写真-1 計算例一その 1

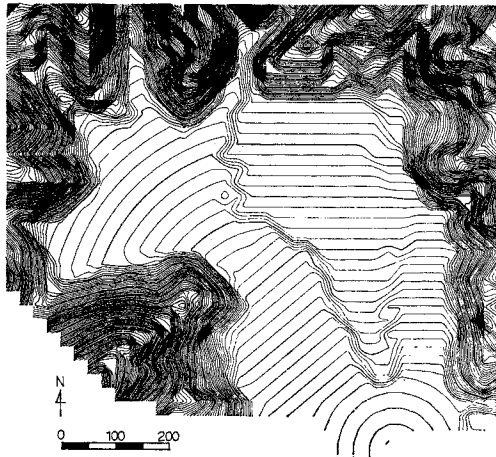


図-6 計算例一その 1 (等高線図)

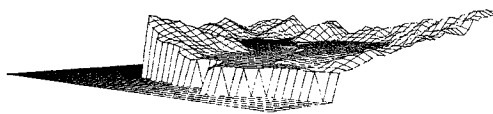


図-7 計算例一その 1 (鳥瞰図)

さて、図-6 に示す計画案の造成方法について説明する。この計画案は 5 つの計算ブロックで構成されている。中央の尾根は、南向きに斜面勾配 5.2% の平面計画盤でカットされ、尾根の根元で高さ 30 m の法面をついている。尾根の西側の谷は、谷の出口方向(南東方向)に斜面勾配 3.9% の曲面計画盤—その 1、そして 4.6% の平面計画盤で盛土されている。また、東側の谷は、切土計画盤への進入路を取り付けるように、南向きに 6.7% の平面計画盤で計画され、谷の入口で、3.5% の曲面計画盤—その 1 と接続している。この造成は、全面的な造成を避けて尾根の西側に、幅約 25 m, 高さ 5 m の緑地帯を残し変化をもたせている。道路は、南端から進入路をとり、東の谷を上がって尾根の中央部を横切る。そのまま西の谷に入り、南下するような路線が考えられる。

この造成の土工量を、表-1 に示す。入力時の斜面勾配による盛土量と切土量は、それぞれ、-222.9 万 m³, 190.5 万 m³ であり、32.4 万 m³ の土工量の差があった。これが 1 回目の逐次計算では、1.1 万 m³ となり、2 回目では、収束許容条件 (計算面積当たり 1 cm) の、7 287 m³ 以下の -339 m³ となって計算を終了した。入力時と土工量 バランス時の斜面勾配の変化量は 0.1~0.5% である。

(3) 計算例一その 2

計算例一その 1 と異なる造成計画案を写真-2, 図-8, 9 に示す。中央の尾根の真中あたりで広い造成地をつくり、尾根の北部と南部を造成勾配約 20%, 高さ 15 m の切土法面で分離した。尾根の先端は、造成地のポイントとなるように、約 20 m の小山として保存した。西の谷の曲面計画盤—その 3 と尾根南部の平面計画盤と

表-1 計算例一その 1 の土工量, 造成面積, 斜面方位および斜面勾配

計算ブロック 番 号	計画盤の種類	土 工 量 万 m ³		造成面積 千 m ² (%)	斜面方位 (度)	斜面勾配 (%)	
		盛土量 (%)	切土量 (%)			入 力 時	バ ラ ンス 時
1	平面計画盤	-	199.75 (100.0)	101.9 (31.5)	180.0	5.5	5.2
2	曲面計画盤—その 1	-28.79 (14.4)	—	35.0 (10.8)	—	3.0	3.5
3	平面計画盤	-26.25 (13.1)	—	38.8 (12.0)	180.0	6.8	6.7
4	平面計画盤	-62.15 (31.1)	—	59.4 (18.3)	140.0	5.0	4.6
5	曲面計画盤—その 1	-82.59 (41.3)	—	88.8 (27.4)	—	4.0	3.9
合 計		-199.78 (100.0)	199.75 (100.0)	323.8 (100.0)			

表-2 計算例-その2の土工量, 造成面積, 斜面方位および斜面勾配

計算ブロック番号	計画盤の種類	土工量 万 m ³		造成面積 千 m ² (%)	斜面方位 (度)	斜面勾配その1 (%)		斜面勾配その2 (%)	
		盛土量 (%)	切土量 (%)			入力時	バランス時	入力時	バランス時
1	曲面計画盤-その3	-13.16 (6.9)	—	41.3 (12.8)	—	5.0	5.2	7.0	7.2
2	平面計画盤	-10.04 (5.3)	—	23.8 (7.4)	180.0	6.5	6.6	—	—
3	平面計画盤	—	51.94 (27.3)	38.8 (12.0)	180.0	6.5	6.7	—	—
4	平面計画盤	—	45.27 (23.8)	21.3 (6.6)	180.0	20.0	20.3	—	—
5	平面計画盤	—	93.35 (49.0)	45.6 (14.1)	180.0	5.0	5.2	—	—
6	開扇状計画盤	-5.30 (27.9)	—	51.9 (16.1)	—	6.5	6.5	—	—
7	曲面計画盤-その3	-113.81 (59.9)	—	100.0 (31.0)	—	6.0	6.1	5.0	5.1
合計		-190.01 (100.0)	190.56 (100.0)	322.5 (100.0)					

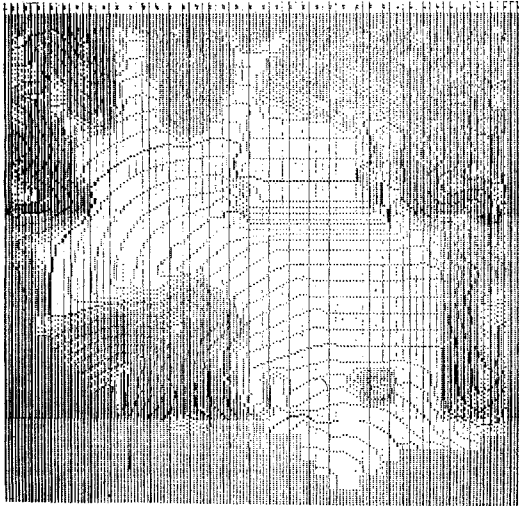


写真-2 計算例-その2

は開扇状計画盤で接続させている。尾根北部の約 25 m の法面は、西側に開いて、西の谷から尾根北部へのアプローチを助けている。尾根北部へのアプローチは、高さ 15 m、長さ 250 m の法面上でも、6% の道路の取り付けが可能である。また、尾根北部の東西の斜面は、若干であるが自然地として保存されている。

この造成の土工量は、表-2 に示す。入力時の斜面勾配による盛土量と切土量は、それぞれ、-175.5 万 m³、201.1 万 m³ であり、25.6 万 m³ の差があった。1 回目の逐次計算では、6.8 万 m³ となり、2 回目では、2.1 万 m³ となり、そして3回目には、5 478 m³ となって計算を終了した。入力時と土工量バランス時の斜面勾配の変化量は、0.1~0.3% である。

(4) 考 察

自動計算に必要なデータカードは、1 計算ブロックについて 5 枚であり、非常に少ない。

計算時間は、IBM システム/370 モデル 138、リアルストレージ 512 K バイトを使用したとき、計画盤決定に要した時間は 34 秒で、ラインプリンターの等高線の計算は 74 秒であった。また、参考に、プロッターによる等高線図は 30 分、鳥瞰図は 6 分である。計画盤決定に要する時間が短かいのは、メッシュ点の計画高が容易に計算されるため土工量計算が速いことと、土工量バランスの収束性がよいためと思われる。これは、最小自乗法によるものと比較すると非常に速い計算方法といえる。

計画イメージが、土工量バランス計算の範囲内にない場合、その状態の土工量表と計画盤の等高線図がアウトプットされる。土工量バランスさせるには、その状態から、基準点の高さや斜面勾配の値を変更し、数回計算を繰り返す必要があるが、これは、手計算による計画案作成と似た面がある。

二つの計算例にみられるように、かなり内容の異なる計画案を作成できるため、代替案作成に有効である。また、思いついた計画イメージについて、土工量のチェックが簡単にできるため、作業能率は向上する。

計画盤の勾配は、入力時の勾配との差が 0.5% 以内と

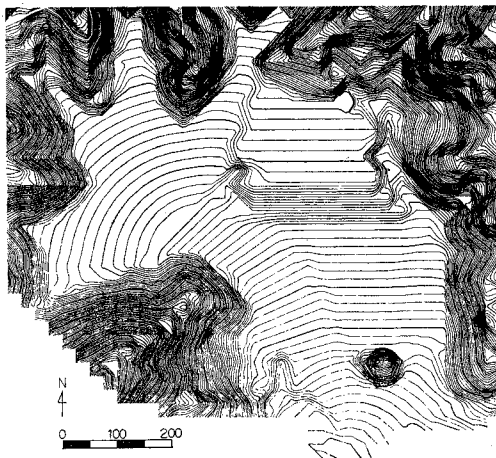


図-8 計算例-その2(等高線図)



図-9 計算例-その2(鳥瞰図)

なっており、入力勾配に注意すれば、計算された計画盤は道路縦断勾配の制約条件をすべての地点で満足できるものである。したがって、実施計画案として、道路縦断線形計算や排水縦断線形計算を行っても、特に問題点は生じないと思われる。

4. 宅地計画の自動化についての考察

ここで提案された方法による土地造成計画案は、宅地計画における道路高、および宅盤高決定のベースとして利用できることは、ほぼ確信できるものと思われる。そこで、さらに進めて宅地計画を自動的に行うことができるかどうかについて、次の二点について考察してみた。

1) 計画盤データを用いて、道路高、および宅盤高を自動的に計算すること。

2) 1) の計算によって求められた宅地の計画盤は、土工量バランスしていること。また、土工量は、造成計画案とほとんどかわらないこと。

上記の2点を満足させる方法は、次のように考える。

土地造成計画案は、計画区域の規模にもよるが、通常幹線道路、準幹線道路、区画街路、緑道等の道路部、および宅地、公園、共益施設、学校等の道路で囲まれる部分で構成される。そして、道路を計画盤の区切りとみると、全体は、(i) 区画街路を区切りとする“土工量バランス街区モデル”と、(ii) 幹線、準幹線を含む“土工量バランス幹線モデル”という単位で構成される(図-10)。そこで、計画盤データに対する土工量バランスをそれぞれの単位で行うとしたら、道路高、および宅盤高を、計画盤データから決定する方法が上記の二点を満足させる方法となりうると思われる。

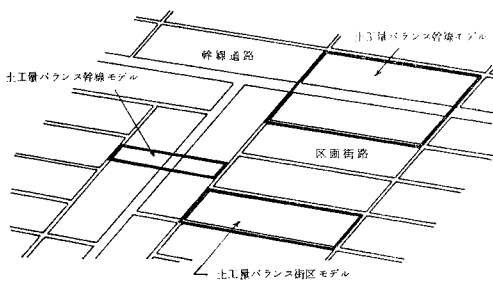


図-10 土工量バランスモデル構成図

(1) 土工量バランス街区モデル

土工量バランスの最小単位として、図-11 に示す土工量バランス街区モデルを考える。このモデルは、斜面形状の計画盤に対して、ひな段造成した場合、宅地、道路の増減がバランスするように、道路高、宅盤高を決定するものである。

土工量バランス街区モデルの断面図を 図-12 に示す。

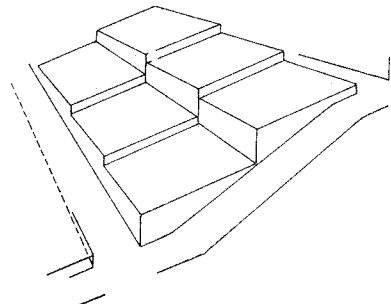


図-11 土工量バランス街区モデル

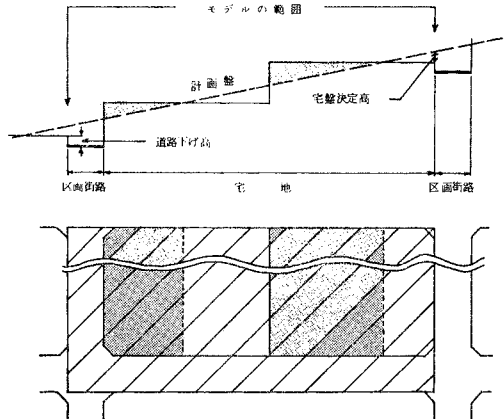


図-12 土工量バランス街区モデル断面図

計画盤は、ほぼ平面の形状をしているので、斜面勾配によって表現できる。道路高、宅盤高は、宅地の整形によって増減した土工量がバランスするような宅盤決定高を計算することによって求められる。宅盤決定高とは、道路端における計画盤高と土工量バランスする宅盤高の差であり、シミュレーションによって容易に求められる。そして、道路高は、宅盤高より一律に任意の高さ(この高さを“道路下げ高”とよぶ)だけ下げると仮定すると、宅盤決定高が計算できれば簡単に求められる。

宅盤決定高の計算に必要な要素は、街区の長辺、短辺、道路幅員、道路下げ高、計画盤の短辺方向の勾配がある。次に、宅盤決定高とこれらの要素との関係を明らかにするとともに、若干の考察を加える。

まず、斜面勾配と宅盤決定高との関係について述べる。街区の長辺、短辺、道路幅員が一定のとき、斜面勾配の値に対する宅盤決定高をシミュレーションによって計算した結果、両者の間に線形関係があることがわかった。両者の間に関数関係があれば、計算時間を短縮することができる。そこで、斜面勾配に対する宅盤決定高の線形モデルを考えると式(9)で表わされる。

$$H = a \times S + b \dots\dots\dots(9)$$

ここで、 H は宅盤決定高、 S は斜面勾配、 a 、 b はパラメーターである。

a および b の推定値を求めた後、式 (9) による計算値とシミュレーションによる値を比較すると、誤差は 1 ミリメートル以下であり、宅盤決定高は、斜面勾配と完全な線形関係がある。これは、このモデルの範囲内で計画盤が平面である場合について成り立つものであり、実際にそうでない位置での道路高を求めるとき誤差を伴う。しかしながら、そのような位置は全体の中で非常に少ない場合には無視できるものと考えられる。

次に、街区の長辺と宅盤決定高との関係について述べる。街区の長辺は、計画上各街区によって数十メートルの差がある。街区の短辺、道路幅員、斜面勾配、道路下げ高が一定のとき、街区の長辺と宅盤決定高の関係を表-3 に示す。

表-3 街区の長辺と宅盤決定高との関係

街区長 辺の長 さ (m)	街区短辺の長さが 30 m のとき				街区短辺の長さが 40 m のとき			
	回帰関数の パラメーター		宅盤決定高 (cm)		回帰関数の パラメーター		宅盤決定高 (cm)	
	a (cm)	b (cm)	勾配 5%	勾配 10%	a (cm)	b (cm)	勾配 5%	勾配 10%
50	3.91	-4.25	15.3	34.9	5.93	-3.30	26.4	56.0
60	3.85	-3.57	15.7	34.9	6.10	-3.17	27.3	57.8
70	3.91	-3.37	16.2	35.8	6.22	-3.06	28.0	59.1
80	3.98	-3.27	16.6	36.5	6.31	-2.98	28.6	60.1
90	4.04	-3.23	17.0	37.1	6.38	-2.91	29.0	60.9
100	4.08	-3.18	17.2	37.6	6.44	-2.86	29.3	61.5
110	4.12	-3.14	17.4	38.0	6.48	-2.79	29.6	62.0
120	4.15	-3.11	17.6	38.4	6.53	-2.77	2.99	62.5
130	4.18	-3.08	17.8	38.7	6.56	-2.74	30.1	62.9
140	4.20	-3.04	17.9	38.9	6.59	-2.72	30.2	63.2
150	4.21	-3.01	18.1	39.1	6.62	-2.69	30.4	63.5

表-3 では、街区短辺の長さが 30 m, 40 m のときの回帰関数のパラメーターと斜面勾配が、それぞれ、5% と 10% の場合の宅盤決定高について、街区長辺の長さによる相違を示している。これによると、街区長辺の長さが、50 m と 150 m のときの宅盤決定高の差は、街区短辺の長さが 30 m の場合、斜面勾配 5% で 2.8 cm, 10% で 4.2 cm であり、街区短辺の長さが、40 m の場合では、斜面勾配 5% で 4.0 cm, 10% で 7.5 cm である。

この値は、やや大きいと思われるが、宅盤決定高を求めるのに、それぞれの街区の長辺の長さを求めて、そのつど計算するのは、はなはだめんどうである。そこで、街区の長辺の長さは、極端に短いものや極端に長いものは、全体の数からみるとわずかであり、街区の計画は、平均的な長辺の長さによって行われるものと考えられる。街区長辺の長さが平均的長さの ± 20 m の範囲で分布しているものとする、宅盤決定高の差は、たとえば、平均的長辺の長さが 80 m のとき、街区短辺の長さが 30 m で、斜面勾配 5%, 10% のとき、それぞれ、0.6~0.9 cm, 1.1~1.6 cm であり、街区短辺の長さが 40 m で、斜面勾配 5%, 10% のとき、それぞれ、0.7~1.3 cm,

1.4~2.3 cm である。

この程度の誤差は道路縦断勾配に対して、0.1% 以下の影響しか与えないし、土工量バランスについても、宅地部での修正高さは 1 cm 以下であるので、全体の土工量バランスについては十分許容できる。したがって、平均的な街区長辺の長さを指定した上で式 (9) の回帰関数を用いることができると考えられる。

街区の短辺については、宅地の区画割の計画上、ほとんど同一の長さにすると考えてさしつかえない。一応、街区長辺の長さ、道路幅員、道路下げ高、斜面勾配が一定のときの街区の短辺と宅盤決定高との関係を求めた表-4 から判断すると、斜面勾配が 3% では、街区短辺の長さが 1 m 増すごとに、宅盤決定高は 0.3~0.6 cm 増加する。また、斜面勾配が、7% と 10% では、それぞれ、1.2~1.6 cm, 1.9~2.4 cm 増加する。

表-4 街区の短辺と宅盤決定高との関係

街区短辺 の長さ (m)	街区長辺の長さが 80 m の ときの宅盤決定高 (cm)						街区長辺の長さが 100 m の ときの宅盤決定高 (cm)			
	勾配 3%		勾配 7%		勾配 10%		勾配 3%		勾配 7%	勾配 10%
	25	5.6	18.4	28.0	5.8	18.4	27.9			
30	8.7	24.6	36.5	9.1	25.4	37.6				
35	12.3	32.9	48.3	12.8	33.8	49.6				
40	15.9	41.2	60.1	16.5	42.7	61.5				
45	19.5	49.4	71.8	20.1	50.6	73.4				

この値は、実際に街区短辺の長さが、街区ごとに変わるのであれば無視できない数字である。

街区短辺が変化するとともに、シミュレーションによって宅盤決定高を求めるのは、はなはだめんどうである。そこで、計算を簡略化するために、街区長辺が一定のときに、任意の街区短辺の長さについての斜面勾配と宅盤決定高の線形関係式が作成されると好都合である。ここでは、街区長辺が 100 m の場合に、街区短辺長に対する式 (9) に示す線形モデルのパラメーター a および b のさらに線形モデルを考え、パラメーターを計算した結果は次のようになった。

$$a=0.2258 \times L - 2.5850$$

$$b=0.0457 \times L - 4.6985$$

ここで、 L は街区短辺の長さである。

この回帰関数を用いて、宅盤決定高を計算した場合の誤差は、短辺長 30 m で斜面勾配 1% のときでは、次のようになる (表-5)。

$$(4.08 \times 1.0 - 3.18) - (4.19 \times 1.0 - 3.33) \\ = 0.90 - 0.86 = 0.04 \text{ cm}$$

同様にして、斜面勾配 10% のときは、1.05 cm である。また、短辺長 45 m では、それぞれ、-0.06 cm, 0.3 cm である。

この誤差は、十分許容されるものと考え、街区短辺の長さが変わっても、街区長辺の平均的長さについての回

表-5 街区の短辺の長さに対するパラメーター a, b の回帰関数 (街区長辺の長さは 100 m)

街区短辺の長さ (m)	パラメーター a		パラメーター b	
	真の値	回帰式による値	真の値	回帰式による値
25	3.17	3.06	-3.72	-3.56
30	4.08	4.19	-3.18	-3.33
35	5.26	5.32	-3.00	-3.10
40	6.48	6.45	-2.86	-2.87
45	7.62	7.58	-2.74	-2.64

注 1) パラメーター a の回帰関数 $a' = 0.2258 \times L - 2.5850$
 注 2) パラメーター b の回帰関数 $b' = 0.0457 \times L - 4.6985$

帰関数を求めれば、容易に計算できることがわかった。

以上の計算は、街区の長辺方向の勾配が 0%、あるいは、勾配があっても、隣接する宅地の区画の段差がないような場合について成り立っている。当然、宅地の区画ごとに段差が必要なので、その場合、街区の長辺方向の勾配と一区画の長さ乗じた高さだけ宅盤高を修正すると土工量は変化しない。つまり、図-13 において、短辺方向の 2 つの宅地のうち、低い方の宅盤高を修正すればよい。しかしながら、この修正が可能であるには、街区の長辺方向の勾配が、短辺方向の勾配よりも小さいときに限られる。したがって、土工量バランス街区モデルは、この場合にだけ成り立つものである。

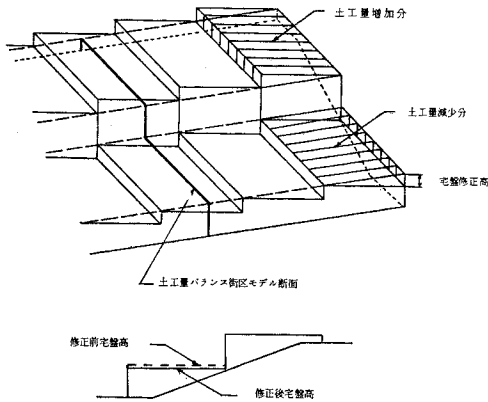


図-13 街区の長辺方向に勾配がある場合の宅盤高の修正

(2) 土工量バランス幹線モデル

土工量バランス街区モデルにおいて、街区短辺の長さによって、宅盤決定高は大きく影響されることを示したが、幹線道路や準幹線道路では、区画街路と比較すると道路幅員は、1.5 倍から 3 倍程度になるため、宅盤決定高は、別に計算する必要がある。そこで、図-14 に示す断面図で計算を行うことにした。

この断面は、幹線道路の両側に街区を含んでいる。両端の区画街路は土工量バランス街区モデルで計算され、それを条件として全体がバランスする宅盤決定高を計算する。このとき、図-10 に示すように道路が斜面方向

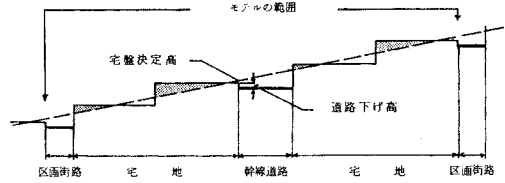


図-14 土工量バランス幹線モデル断面図

にある場合と直角方向にある場合とでは、土工量バランスの計算は異なる。区画街路の道路高も、街区の短辺方向の斜面勾配で決定されるのではなく、勾配の大きい方向の値によって計算を行う必要がある。このモデルの場合も、道路が斜面方向に対して、直角方向の場合については、宅盤決定高は、回帰関数によって計算できることが確められた。斜面方向の場合については、道路の各地点で、斜面方向の勾配から街区モデルの宅盤高を計算し幹線モデルによって幹線の道路高を計算する。

(3) 幹線・準幹線の縦断設計

土地造成計画案の上に、道路の平面計画を行う。道路交点の座標計算には、交点の基準座標、曲線要素、交点間の関連データによる自動計算プログラムがある(説明省略)。この座標データと計画の標高データを用いて幹線、準幹線の路線別に縦断線形の自動計算を行う。

道路中心線上の 5m ピッチ点の計画盤高は、その点を囲む 4 つの計画盤メッシュデータから重回帰モデルを用いて求められる。この重回帰モデルは、計画盤高を x 座標および y 座標の関数として表わす平面方程式 $z = ax + by + c$ のパラメーター a, b, c を推定するものである。ここでは、4 つのメッシュ点で作成される近似平面上の任意の平面位置での計画高を決定するために利用している。当該造成計画案では、平面形状をした計画盤が作成されるので、特に大きなメッシュでなければ、近似平面と実際の平面が一致するため、これによって高精度の計画高が計算できる。造成計画案が平面形状をしていないような場合では、誤差が大きくなりこれ以後の計算が無意味なものになる恐れがある。さらに、5m ピッチ点を中心にして、道路方向および幅員方向に距離 5m の位置の計画高を計算して、その方向の勾配値を求める。これで斜面方向がわかるので、5m ピッチ点の道路高が計算される。

大部分の計画盤は、平面計画盤で計画されているので同一計画盤上に直線道路が計画されれば、当然縦断線形は直線となる。したがって、5m ピッチ点間の勾配は、いくつかの近似勾配の集合体で構成されるはずである。

これらを同一勾配群として自動的に抽出し、順番に異なる勾配をもつ直線部の交点を計算すると、変化点の位置が決定される。緩和曲線は、変化点の前後の線形から

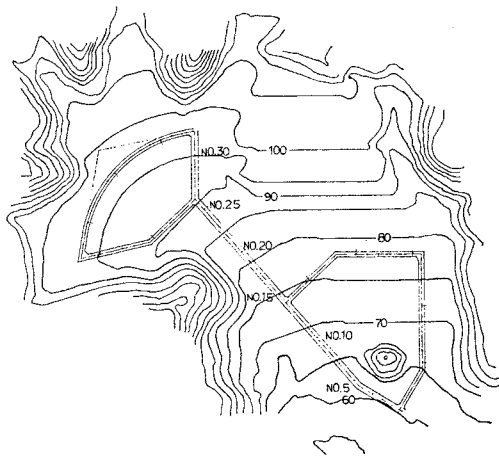


図-15 道路平面図

表-6 幹線道路の縦断線形計算

変化点の位置 No. + L	高さ (m)	変化点間距離 (m)	勾配 (%)
5+17.870	62.749	—	—
6+ 7.042	63.347	9.170	6.52
8+ 9.625	66.247	42.504	6.81
14+14.660	74.131	125.035	6.31
24+19.207	88.524	204.546	7.04

計算できる。図-15、表-6は、計算例-その2の計画盤上に作成した幹線、準幹線の道路平面図および幹線についての変化点を計算したものである。結果は、計画盤の斜面勾配と比較してみると部分的に0.3%程度の誤差がある。

(4) 考 察

道路高、宅盤高の自動計算の可能性は、道路縦断設計で示したように十分認められると考える。土工量については各モデル内では理論的にバランスしているが、全体の精度について確認されていない。将来は、梅園⁹⁾によるシステム軸「街区」で用いられている方法、つまり、宅盤高の決定されている街区の中を微小三角形によって細分し、個々の三角柱の土工量を計算して厳密な土工量を計算する方法によってチェックを行うつもりである。

5. あとがき

著者は、土地造成計画案の自動設計にあたり、計画盤モデルを用いて設計者のイメージを、シミュレーションによって求める手法を提案した。この手法の特徴をまとめると以下ようになる。

(1) 設計者は、土地造成計画案の作成に際しては、

計画イメージをおおまかに作成するだけでよく、造成計画図は自動的に作図される。

(2) 造成計画図は、計画イメージをいくつかの簡単な幾何学的形状をした計画盤モデルにおきかえて計算される。この中には、切盛法面の自動設計も含まれる。

(3) 土工量バランスする計画イメージは、盛土量と切土量の差がある範囲内で自動的に計算される。

(4) 土工量バランスしない計画イメージは、計算結果から、その原因を解明し修正することができる。

(5) 土工量バランスの収束時間は非常に速いので経済的に十分使用できる。

(6) 現況地形データを除いた計算データはきわめて少ないので、代替案作成も簡単に行うことができる。

(7) したがって、短時間のうちに多くの代替案を作成できるので、計画案の決定に十分な検討ができる。

次に、作成された計画盤データを用いて、道路の縦断設計を試みた。これによって、本手法が実用的な設計作業に利用できる可能性を示した。

この手法の利用範囲は、宅地造成計画以外に、アースダムや大規模な調整池の設計、埋め立て計画、あるいは丘陵地に計画される大規模建築物に伴う土地造成等が考えられる。今後とも計画盤モデルの拡充を行い汎用的なプログラムの作成をめざしたい。

最後に、本論文の作成にあたり、(株)大林組 村田稔氏には、終始適切なるご指導とご助言をいただき、原稿の清書には(同)前田和世さんの手をわずらわせた。また、名古屋大学成岡昌夫教授から貴重なご指導とご鞭撻を賜った。ここに記して感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 丸安隆和・村井俊治・平井 憲・高橋永次：シミュレーションモデルを用いたアースデザインに関する研究(第一報), 生産研究, 第23巻, 第4号, pp. 23~29, 1971.4.
- 丸安隆和・村井俊治・小宮山澄夫：シミュレーションモデルを用いたアースデザインに関する研究(第二報), 生産研究, 第23巻, 第5号, pp. 39~44, 1971.5.
- 村井俊治：宅地造成計画の最適化, 施工技术, 第4巻, 第11号, pp. 8~15, 1971.12.
- 丸安隆和・村井俊治・栗原京子：シミュレーションモデルを用いたアースデザインに関する研究(第三報), 生産研究, 第24巻, 第7号, pp. 27~31, 1972.7.
- 丸安隆和・村井俊治・栗原京子：シミュレーションモデルを用いたアースデザインに関する研究(第四報), 生産研究, 第24巻, 第7号, pp. 32~36, 1972.7.
- 梅園輝彦：大規模宅地造成における自動設計および計画シミュレーションに関する研究, 1974.6.
- 浜嶋敏一郎：電算機による土地造成計画案の作成, 電算機利用に関するシンポジウム講演概要, pp. 29~32, 1977.11.

(1978.1.17・受付)