

UDC 624.134/.135.001.57  
528.74: 528.728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)

A Study on the Earth Design by Using Simulation Model

丸 安 隆 和\* 村 井 俊 治\* 小 宮 山 澄 夫\*

Takakazu MARUYASU, Shunji MURAI and Sumio KOMIYAMA (2nd Report)

## 1. 水柱モデルによる地形変更の考え方

第一報は、宅地造成など大規模な地形変更を要する問題は、平面計画をたてるのに先だててまずその地形をどのように変更したらよいかという問題から出発すべきであることをのべた。この解を得るために、第一報では地形変更の問題を制約条件付きの最小自乗法の問題におきかえて解く方法とその応用例を示した。

ここでは、地形変更の問題を水柱モデルを用いて解く考え方を紹介する。

われわれは、宅地をつくる場合できるだけ安定した新しい地形に変更したい。しかも、もとの地形から宅地へと地形を変更するとき、地形勾配をなめらかにし、かつ変更を要するエネルギーを最小にしたい。

地形が安定している状態とは、地形のもつ位置エネルギーとまさつ力が平衡している状態であると考えられる。なんらかの誘因により、まさつ力が低下すると、地形は新しい平衡状態になるための変形運動をおこす。この運動は、地形の曲面と重力に拘束された運動とみなすことができる。すなわち、変形運動は常に地形の最急勾配方向に向って行なわれ、新しい平衡状態にいたるまでの変形エネルギー量が最小となる。

このような変形運動は、自然界でも見受けられる。たとえば、山は少年期、壮年期から老年期を経て次第になめらかになってゆく過程をたどる。

われわれは、このような自然界で行なわれている変形過程を、地形の変更問題にとり入れてみた。すなわち、ここでは、計算機のなかで人工的にこのような地形の変形過程を短時間のうちにシミュレートさせようと考えた。

地形の変形過程を簡単にシミュレートさせる一つの近似的なモデルとして、図1に示すように、地形を、その地盤高に相当する水位をもつ水柱群と考え、その水柱の下端に、隣りどうしが連通できるような弁をつけた水柱モデルを考える。もし、これらの弁を同時にあければ、水柱は、水位差に応じて変形運動をはじめ、無限時間後には水柱は水平になる。

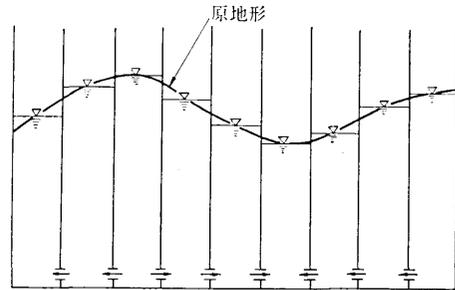


図1 水柱モデルによる地形変更

宅地造成では、一般に地形を水平にしなくても、適当にゆるやかな勾配が保たれていればよいのであるから、上にのべた水柱間の勾配がある許容勾配以内になったときに弁を閉じれば、所望のなめらかな地形変更の解が得られることになる。

水柱モデルを用いて地形を変更してゆく方法は

- (1) 時間毎の変形過程を求めれば変形すべき形状とその順序がわかる。
- (2) 変形にともなう土の総量が一定であるため切盛土量はバランスする。土工換算率が異なる場合には得られた造成地を全体に上げるか下げるかして調整すればよい。
- (3) 力学的に安定した宅地が得られる。
- (4) 変形エネルギーが最小である。

などの特徴をもったアースデザインの指針が得られる利点をもっている。

以下に、水柱モデルを用いた宅地造成設計の手法についてのべる。

## 2. 水柱モデルの変形運動

いま、もっとも簡単な水柱モデルとして、図2に示されるような二つの水柱からなるモデルを考えてみよう。

二つの水柱の水位をそれぞれ  $Z_1, Z_2$  とし、水位差を  $H$  とする。水柱の断面積を  $A$ 、弁の孔の断面積を  $a$  とすると弁を流れる水の速さ  $v$ 、および流量  $Q$  は次の式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} v &= c\sqrt{2gH} \quad \text{ただし } H = Z_1 - Z_2 \\ Q &= av = c \cdot a\sqrt{2gH} \end{aligned} \right\} (1)$$

\* 東京大学生産技術研究所 第5部

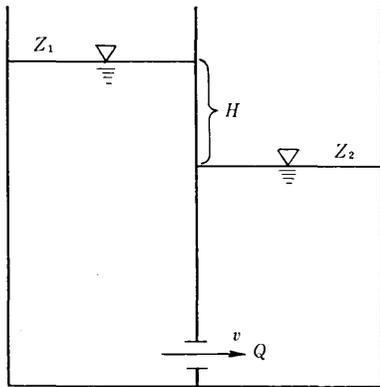


図 2 水柱モデルの変形運動

微小時間  $\Delta t$  後の水位の変動高  $\Delta H$  は

$$\Delta H = Q \cdot \Delta t / A = (c \cdot a / A) \cdot \sqrt{2gH} \cdot \Delta t \quad (2)$$

となる。

したがって  $\Delta t$  時間後の水位および水位差は次の式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} Z_1 &= Z_1 - \Delta H \\ Z_2 &= Z_2 + \Delta H \\ H &= H - 2\Delta H \end{aligned} \right\} (6)$$

(2)式からわかるように、弁の孔の断面積を大きくすれば、水位変動高は大きくなるので、変形の速さをこれによってコントロールできる。

本研究では、新しく係数  $\alpha$  を

$$\alpha = (c \cdot a / A) \cdot \sqrt{2g} \cdot \Delta t \quad (4)$$

とおき、 $\Delta H$  を次のように表わした。

$$\Delta H = \alpha \sqrt{H} \quad (5)$$

したがって、微小時間後の水位および水位差は次のようにかきなおせる。

$$\left. \begin{aligned} Z_1 &= Z_1 - \alpha \sqrt{H} \\ Z_2 &= Z_2 + \alpha \sqrt{H} \\ H_{new} &= H - 2\alpha \sqrt{H} \end{aligned} \right\} (6)$$

$\alpha$  の値のとり方によって、微小時間後に水位差  $H$  がどのような水位差になるかを図3に示す。この図からわかるように新しい水位差  $H_{new}$  が負になるところは、水位の高低の順序関係が逆転することを意味しており、水が振動してしまうことをあらわす。この図から  $\alpha$  のとり方によって次の三つの運動が考えられる。

- (1)  $\alpha < \sqrt{H}/2$  のとき、 $H > H_{new} > 0$ ; 等水位に漸減収束する。
- (2)  $\alpha = \sqrt{H}/2$  のとき、 $H_{new} = 0$ ; 等水位になる。
- (3)  $\alpha > \sqrt{H}/2$  のとき、 $H_{new} < 0$ ; 振動する。

以上のことから、振動をおこさせないようにするためには、 $\alpha$  の値を小さくすることが必要である。 $\alpha$  の値を小さくすると、水位差の減少がゆるやかになり実際の水の運動に近づくが、計算くりかえし回数が多くなること

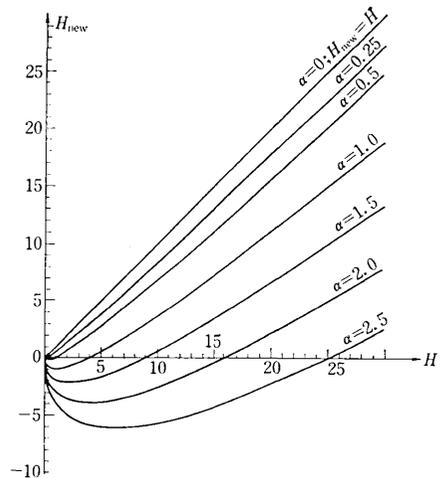


図 3 微小時間後の水位差の変動の関係

になる。 $\alpha$  の値は、地形の起伏状態や、近似精度、計算作業量などの関係からきめなければならない。

つぎに多数の水柱群がある場合に、どのような  $\alpha$  をとったらよいかを実際の宅地造成に適用することを考えた上で論じることとする。

### 3. 水柱モデルによる宅地造成の設計

いま、宅地造成計画地域を適当な間隔の正方形格子に分割し、おのおのの格子に地盤高に相当する水が入っているものとする。ある格子のなかに入っている水は、図4に示すように、その周囲の8つの水柱と連通できるような弁を有している。

$(i, j)$  の格子の水柱の水位を  $Z_{i,j}$  とし、微小時間後に変動する高さ  $\Delta H_{i,j}$  は次の式で与えられる。

$$\Delta H_{i,j} = \alpha \{ G_{i+1,j} + G_{i+1,j+1} + G_{i,j+1} + G_{i-1,j+1} + G_{i-1,j} + G_{i-1,j-1} + G_{i,j-1} + G_{i+1,j-1} \} \quad (7)$$

ここで、 $G_{k,i}$  は次に示すような関数である。

$$G_{k,i} = \{ \text{SIGN}(Z_{i,j} - Z_{k,i}) \} \sqrt{|Z_{i,j} - Z_{k,i}|} \quad (8)$$

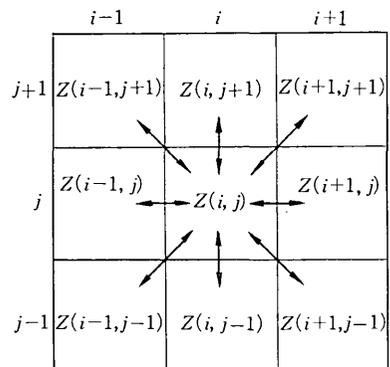


図 4 水の流動方向

したがって微小時間後には、 $(i, j)$  の格子の水柱の水位は、

$$Z_{ij} = Z_{ij} + \Delta H_{ij} \quad (9)$$

となる。

以上に示したような運動をおこす水柱モデルにおいて、終局的にすべての水柱が等水位に漸減収束するには、どのような係数  $\alpha$  をとればよいかについて考えてみよう。

任意の時刻における水位が  $Z_{ij}$  であるとするとき、水柱モデルの問題では、 $Z_{ij}$  というベクトルを有す点が

$$\sum \sum Z_{ij} = \text{一定} \quad (10)$$

という超平面上を

$$Z_{ij} = Z_{\text{mean}} \quad (11)$$

という多次元空間のある 1 点に収束する過程を見ようとしている。

したがって、多次元空間内の点が、平均高  $Z_{\text{mean}}$  を与える点に漸減収束するためには、2 点間の距離が単調減少してゆけばよい。

2 点間の距離を表わす関数を次のように定義する。

$$F = \sum \sum (Z_{\text{mena}} - Z_{ij})^2 = \sum \sum \{ Z_{\text{mean}} - Z_{ij} - \alpha P_{ij} \}^2 \quad (12)$$

ここで  $P_{ij}$  は (7) 式の右辺の  $\{ \}$  内の和をあらわす。係数  $\alpha$  は、この  $F$  の値が最も大きく減少するような値、すなわち

$$\frac{\partial F}{\partial \alpha} = 0 \quad (13)$$

を与えるような  $\alpha$  より小さな値をとればよい。

(12) 式で表わされる  $F$  を  $\alpha$  について微分すると、次の式が得られる。

$$\alpha = \frac{\sum \sum P_{ij} (Z_{\text{mean}} - Z_{ij})}{\sum \sum P_{ij}^2} \quad (14)$$

結局、 $\alpha$  には、(14) 式で与えられる  $\alpha$  より小さい正の数を与えればよいことがわかる。

図 5 は水柱モデルを用いて宅地造成をなう場合の流れを示している。

#### 4. 水柱モデルを用いた宅地造成設計の応用例

以上にのべてきたような水柱シミュレーションモデル

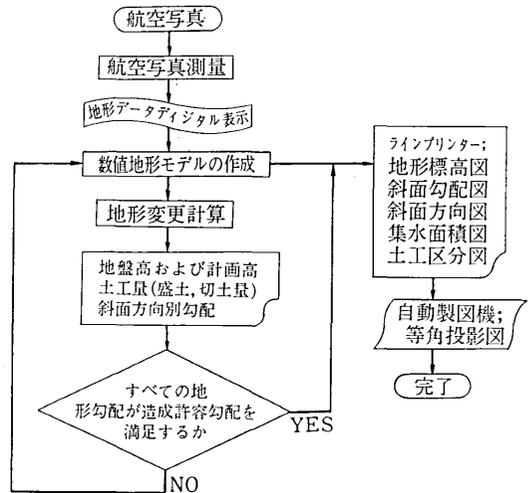


図 5 水柱モデルによる宅地造成計画の流れ

を実際の宅地造成計画地域に応用した例を示そう。

応用した地域は第一報で用いた場所と同じところであり、20m 間隔の格子に分割した。原地形の地形特性は、図 6 (a)～図 6 (e) までに示される。

水柱シミュレーションは、最急勾配の最大値が 8% 以下になるまで行なわれた。

図 7 (a)～図 (f) の図は、変形途中時の地形特性であり図 8 (a)～図 8 (f) の図は、すべての勾配が 8% 以下になった時点での地形特性である。

表 1 は、もとの地形および変形された地形がどのような斜面方位または勾配をもつ地形かをあらわしている。

これらの図表からわかるように、水柱モデルによる宅地造成は、その構想段階においてきわめて有効な初期解となりうる。宅地境界や物件などの制約による局所的な修正をこれらの初期解にほどこすならば、水柱モデルによる造成方法は実用的な設計にも十分利用可能であろう。

なお、図 6、図 7、図 8 に示す図はすべて FACOM 270/30 のラインプリンタまたは、自動製図機によって作られた。水柱モデルによるシミュレーションおよびその成果はすべて自動処理される。

(1971 年 2 月 25 日受理)

研究速報  
等角投影図 (高さの方向の縮尺を2倍した)

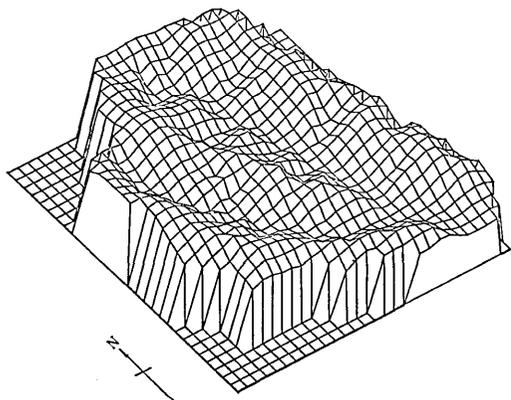


図 6(a) 整地前の地形

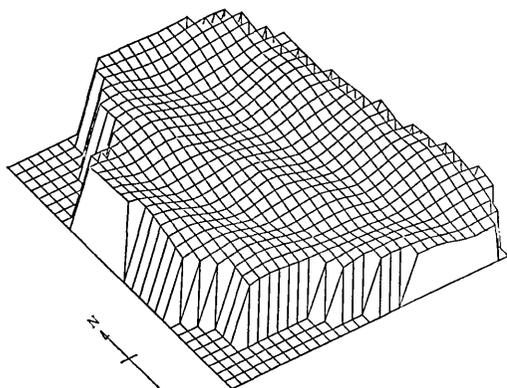


図 7(a) 整地途中の地形

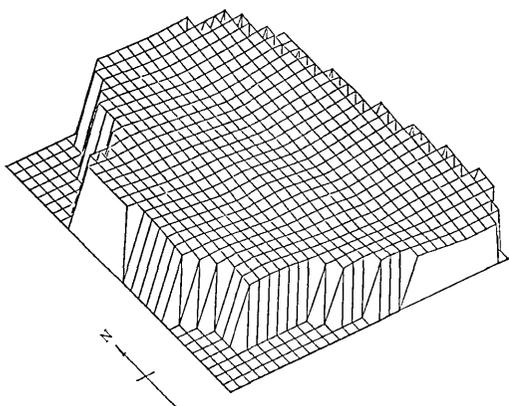


図 8(a) 整地後の地形

地形標高図

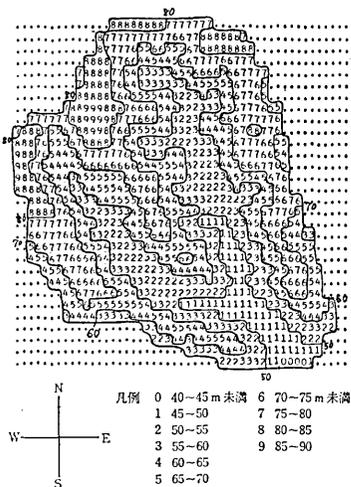


図 6(b) 整地前の地形

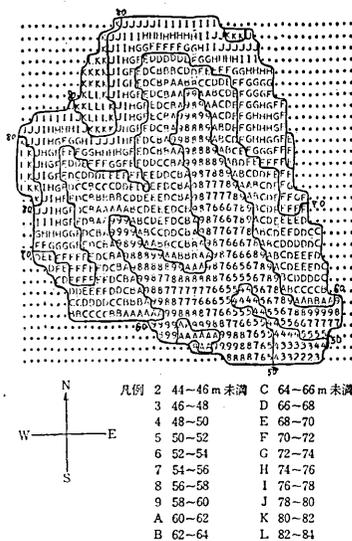


図 7(b) 整地途中の地形

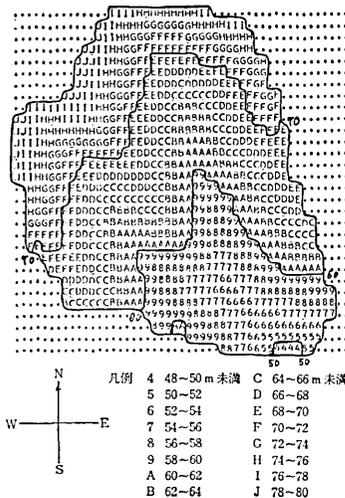


図 8(b) 整地後の地形

斜面勾配図

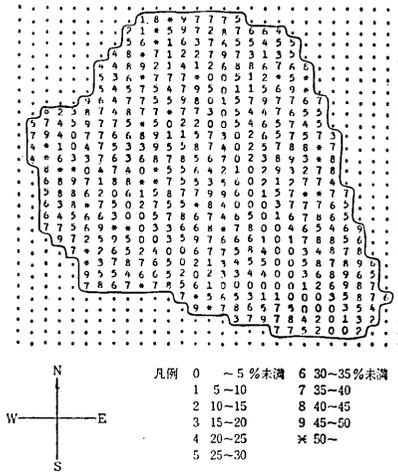


図 6(c) 整地前の地形

斜面方向図

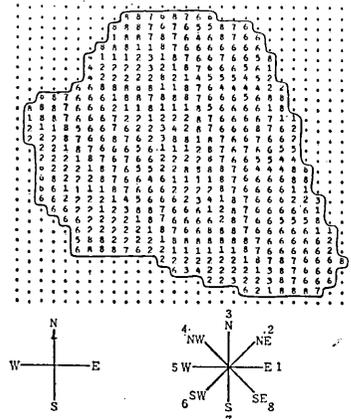


図 6(d) 整地前の地形

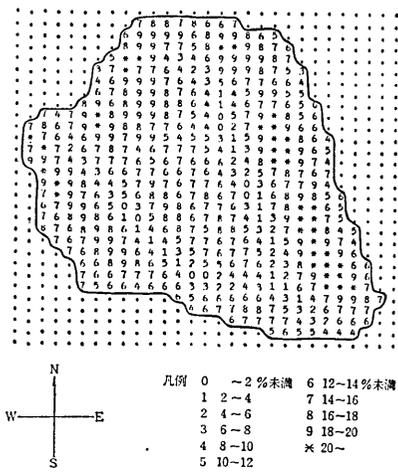


図 7(c) 整地途中の地形

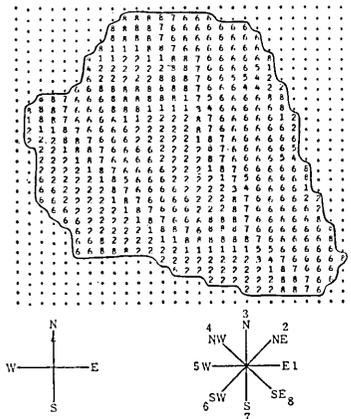


図 7(d) 整地途中の地形

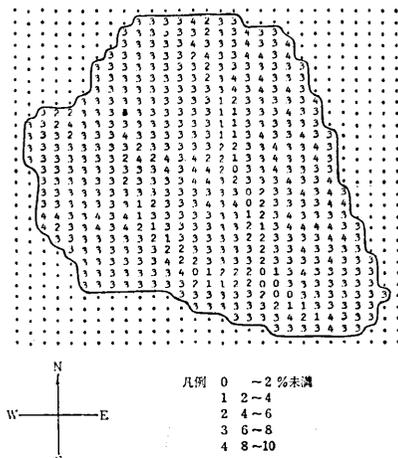


図 8(c) 整地後の地形

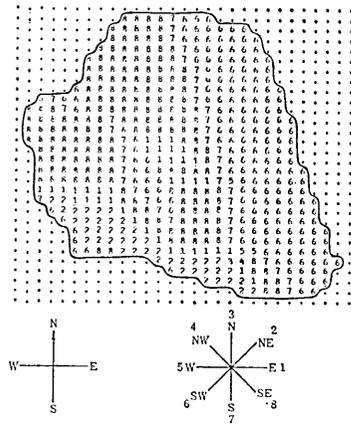


図 8(d) 整地後の地形

集水面積図

表 1

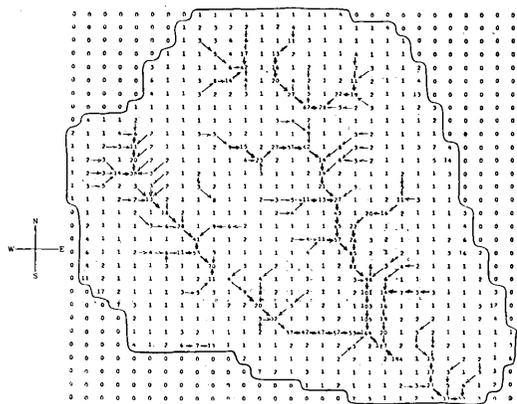


図 6 (e) 整地前の地形

	整地前	整地途中	整地後
最急勾配	74.5%	24.3%	8.0%
東向斜面	13.6	14.1	14.4
北東 "	11.6	11.3	11.2
北 "	9.9	9.1	3.4
北西 "	9.8	6.5	4.5
西 "	11.2	11.2	10.9
南西 "	12.8	13.1	13.2
南 "	15.9	16.4	22.1
南東 "	15.2	18.3	20.3
切土, 盛土量		3,228.1 × 20 <sup>2</sup> (m <sup>3</sup> )	1,938.2 × 20 <sup>2</sup> (m <sup>3</sup> )

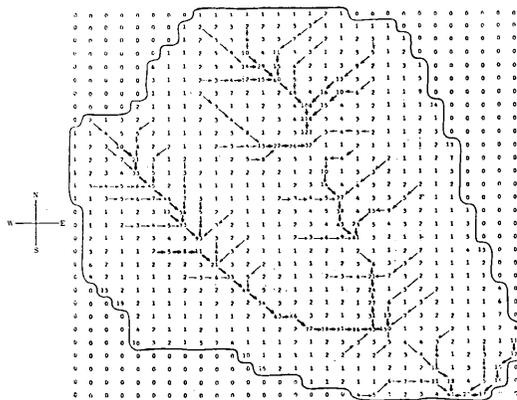


図 7 (e) 整地途中の地形

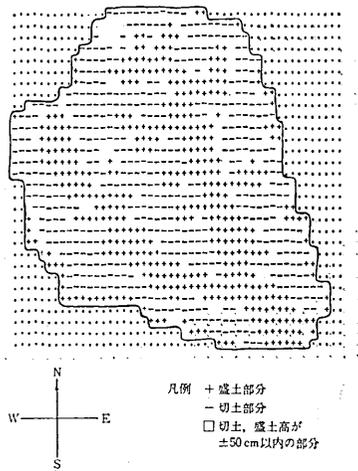


図 7 (f) 整地途中の地形

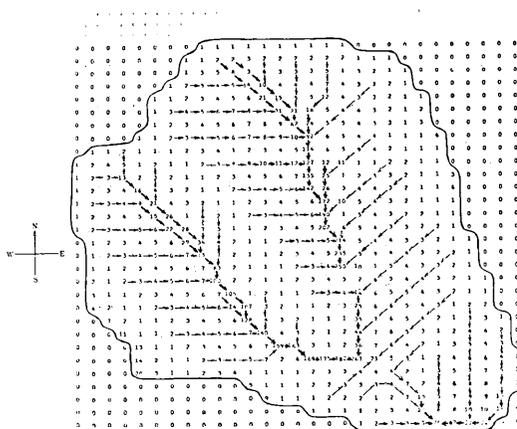


図 8 (e) 整地後の地形

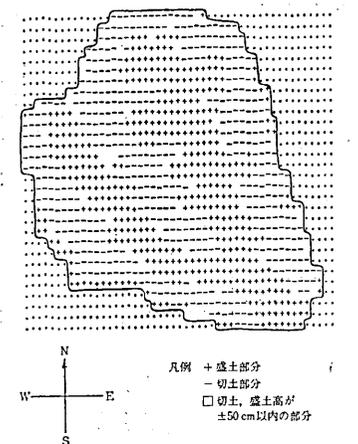


図 8 (f) 整地後の地形