

東大生研 正員 工博 O中村英夫

〃 〃 村井俊治

〃 〃 細柄 徹

1. Digital Terrain Model の概念

道路や鉄道の路線設計、あるいは土地造成の設計など多くの土木構築物の設計に際しては、地形条件が支配的な影響をおよぼすことが多い。したがって、これらの設計問題を電子計算機で取り扱う場合には、従来地形図ないしは断面図によりグラフィカルに表現されてきた地形を何らかの形でデジタルな形で表現し、計算機に与える必要がある。このように数値的に表現された地形モデルは、*digital terrain model* とよばれ、10 数年前に MIT の Miller によって道路の路線設計にとり入れられた。しかしながら、当時の計算機の能力をも、としては広い範囲の地形を細部にわたって表現することが不可能であったため、ヨーロッパやわが国においてはそれが現実の設計において利用されることはきわめて稀であった。

ところが、最近の最適設計ないしは自動設計の気運は電子計算機の向上とあいまって、再びこの *digital terrain model* に着目せしめ、種々のタイプのモデルが提唱されて、フランス、スエーデンなどにおいてはそれがすでに実際の道路設計に利用されるようになった。*Digital terrain model* は、このように地形を電子計算機に記憶させるものであるが、その表現のしかたには、折線による断面を表わすような非常に簡単なものから、きわめて複雑なものまで種々の方法が考えられる。

2. 種々の Digital Terrain Model

Digital terrain model は原理的には地形上の無数の点 (Terrain point) の XYZ 座標値の集合として地形を表現するものであるが、測定の手率や近似の精度、内挿の難易などの理由のため、その表わし方は、次のようなタイプに限定される。

(1) 断面の集まりによる表現

$Z = f_i(x)$, $y = y_i$ ($i = 1, 2, \dots$) なる断面の集まりとして表わされるものであって、初期の MIT の方法などがこれに当る。表示の方法が極めて簡単であるが便利であるが、各断面の間につながりがないため、中間の点の内挿は不確かである。

(2) 曲面による表現

地形は、 $Z = f(x, y)$ なる曲面により表わされるものであって、2 次または 3 次曲面が用いられる。*Terrain point* は、航空写真から測定される場合が多く、任意の位置の測定が可能である。

(3) 等高線による表現

地形は等高線 $f(x, y) = 0$, $Z = Z_i$ の群としても表現しうる。等高線による表示は、等高線がその本来の性質上、地形の急峻ないしは複雑なところでは密に、なだらかなところでは粗に存在するものであるため、比較的少ない数の等高線に沿った *Terrain point* により目的を達することができる。また既存の地形図より *digital terrain model* をつくるときには、等高線上にない点の XYZ 座標を測定するのは困難であるため、等高線に沿って XY 座標を記録する等高線表示が便利である。

3. Digital Terrain Model TS-1

われわれは曲面近似にもとづく Digital terrain model の一つとして、次のべる TS-1 モデルをつくり、その精度などについてしらべてみた。

(1) TS-1 モデルの作成

Terrain point は等間隔格子上に配置され、主として航空写真測量図化機により測定される。まず terrain point の XY 座標は、格子に平行な座標系 x, y に変換され、隣り合う連続な 4 点をを用いて、各格子に沿う断面形が 3 次曲線により近似せられる。この曲線より各格子交点およびその交点の中間の点における地形の接線を T_x, T_y とし計算する。格子によって分割される各区画内の地形面は次の 3 次曲面で近似される。

$$Z = f(x, y) = a_1 x^3 + a_2 x^2 y + a_3 x y^2 + a_4 y^3 + a_5 x^2 + a_6 x y + a_7 y^2 + a_8 x + a_9 y + a_0 \quad (1)$$

この式の係数 $a_0 \sim a_9$ は、(i) この曲面が四つの格子点において与えられた標高 Z を示し、(ii) その接線に配 $\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y}$ がすでに決められている接線に配 T_x, T_y から与えられる量の総和を最小にする、という条件のもとでの最確値として計算される。すなわち

$$S = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\partial f}{\partial x} - T_x \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} - T_y \right)^2 \right] + \left[\lambda \{ f(x, y) - Z \} \right] \quad (2)$$

を最小にするように係数をもとめる。

(2) TS-1 のテスト

任意の点 (X, Y) に対応する標高値 Z は、この XY を digital terrain model の x, y 座標系に変換したのち、(1) 式より計算される。このモデルのテストは、鹿児島宇宙空間観測所内の一地区を航空写真測量により測定した地形データを用いて行なわれた。(スライド参照)

4. Digital Terrain Model TS-2

われわれが TS-2 とよぶ digital terrain model は、等高線群による地形の表示を行うものである。各等高線と Fourier 級数により近似する。すなわち、一つの等高線上に $(2n+1)$ 個の terrain point をとり、その座標 (x_i, y_i) を用いて、等高線を次のようにあらわす。

$$\left. \begin{aligned} x_i = f(t_i) &= \frac{1}{2} a_0 + a_1 \cos t_i + a_2 \cos 2t_i + \dots + a_n \cos nt_i + b_1 \sin t_i + b_2 \sin 2t_i + \dots + b_n \sin nt_i \\ y_i = g(t_i) &= \frac{1}{2} c_0 + c_1 \cos t_i + c_2 \cos 2t_i + \dots + c_n \cos nt_i + d_1 \sin t_i + d_2 \sin 2t_i + \dots + d_n \sin nt_i \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$\text{ここで、} t_i = \frac{i}{2n} \pi$$

この級数式の係数 a_j, b_j, c_j, d_j ($j=0, 1, \dots, n$) は、 $2n$ 個の測定された terrain point により求められる。

TS-2 モデルにおける profile の内挿は、断面線

$$y = px + q$$

と、等高線

$$x = f_k(t), \quad y = g_k(t), \quad z = z_k$$

の交点を求めることにより、得られる。