

地形メッシュデータの一作成方法

A SAMPLING METHOD ON MESH DATA OF TERRAIN MAP

浜嶋 敏一郎*・藺 安 林**

By Koichiro HAMAJIMA and Anrin RIN

1. はじめに

地形メッシュデータは、地形形状を数値的に表現した基本情報として汎用性が高く、幅広く用いられている。たとえば、土地開発に関する計画設計の基本データとして地形勾配・地形方向の分析、鳥瞰図の作成、粗造成計画の土工量計算、地形断面図での任意地点の高さ算出、運土計画等に用いられている。

このメッシュデータ作成には、航空写真を利用する場合と等高線地形図を利用する場合がある¹⁾。後者を利用する場合、座標読取装置の発達に伴い、より効率的な読取方法が実用化され、少ない労力でメッシュデータを作成できるようになった。手作業では、メッシュ点上のすべての地形高さを読み取らねばならず、データの規模に比例した膨大な労力を要する。さらに、読取エラーを防止するため、2回以上の読取作業を行う等、データの検証作業にも相当な時間、労力が必要である。

電算機を用いる方法は、メッシュデータのもととなる点群のデータを規則的に採取し、近似解法によりメッシュデータを得るものである。この利点は短時間で実用的なメッシュデータを作成できることにある。内山・中村²⁾によれば、この代表的な例として、①地形図上の等高線上のポイント座標を計算機に記憶させた後、地形を近似曲線としてメッシュ点での高さを計算し、これを別に記憶させる方法、②横断線上の地形変化点のポイント座標を計算機に記憶させた後、地形断面の近似曲線としてメッシュ点での高さを計算し、これを別に記憶させる方法がある。

ところが、従来のこれらの方法には、実用上若干の問題点がある。第1に近似解法により得られたメッシュデータの精度は、読取データの量およびそのばらつきに依

存するため、高精度のメッシュデータを得るには、大量かつ均質なデータを採取しなければならない点である。このデータの増大は、メッシュデータの作成時間および電算機処理費用を増加させる点で問題は大きい。第2に、作成されたメッシュ点の高さが、どの程度の誤差内にあるのかの予測と評価が不十分であり、データの検証が必要となる点である。

メッシュデータ作成方法の総合的な評価は、①作業時間、②精度、③作成費用の3項目でなされよう。したがって、電算機による方法では、所定の精度をもつメッシュデータをより速く、より安く作成することが可能となる点に配慮しなければならない。

ここでは、横断線上で順次交差する等高線との交点データを距離-高さの点列データにより表現し、メッシュ点の高さをその隣接する点列データから比例配分により求めるメッシュデータ作成方法を提案する。本文では、座標読取装置と図形表示装置を用いた対話システムによるメッシュデータの作成方法について述べる。さらに、2種類の地形形状に対して、本方法と従来の方法により作成されたメッシュデータの精度と作業効率の比較検討を行い、本方法の有効性を示す。

2. 従来の特徴

従来の方法について述べる前に、水平方向(x, y 座標)および高さ方向(z 座標)の読取誤差の影響について述べる。

人間の目で任意地点の高さを読み取る場合、等高線間隔の $\pm 10\%$ 程度の読取誤差が生じる。たとえば、1mコンターの等高線では ± 10 cmとなる。また、ある高さをもつ点の平面座標をディジタイザーで読み取る場合、ディジタイザーの読取精度は0.1mm程度であるため、この読取精度を高さに換算すると、地形図の縮尺が1000分の1で、勾配が25度の地点において、4.7

* 正会員 工修 (株)大林組電子計算センター

** 西南交通大学助教授 土木系

cm, また縮尺が 2000 分の 1 となると 9.4 cm となる。

このように、高さを読み取る場合は、地形図の縮尺、勾配の影響はなく、読取誤差は常に一定となる。一方、平面座標の読取りではそれらの影響を受け、縮尺が大きくなると読取誤差が大きくなる。また、勾配が大きい地点の方が小さい地点より読取誤差が大きくなる。しかしながら、上記の例から判断すると、縮尺 2000 分の 1 程度では、デジタルタイザの方が精度は高いといえる。

(1) メッシュ点でのデータ読取り

これは、手作業の場合であるが、図-1(a) に示すように、地形図上に描いたメッシュ点の高さを、前後の等高線形状から直接読み取る方法である。この方法の問題点は、作業時間が長いことと、データチェックが必要となることである。読み違いは、5m とか 10m という単位で発生する場合が多い。また、計算機を利用するときには、さらに転記ミス、パンチミス等がある。これらの読み違い、転記ミス等は、土工量計算の場合大きな計算誤差となり、計画に支障をきたす。

(2) 横断線上の変化点データの読取り

この方法は、図-1(b) に示される。地形変化点を読み取り、その高さを入力する。メッシュ点の高さは近傍点による曲線近似法により求められる。人間が読み取る点の数は、手作業より少なくなるが、変化点の高さは等高線図から厳密に読み取らねばならない。

この方法が手作業と比べて有効となるのは、入力データが、メッシュ点の数よりかなり少ない場合である。入力データ数がメッシュ点と近い場合、作業の効率化は望めない。したがって、地形変化の少ない現況地形や計画地形に適しているといえる。

(3) 地形等高線上のランダムデータ読取り

図-1(c) に示すように、等高線上に沿って任意点の X, Y 座標を読み取り、X, Y, Z の三次元ランダムデータを作成する。等高線の高さを設定し、同一高さデータを効率的に作成できるうえ、読取エラーはほとんど生じない。メッシュ点の高さは、曲面近似法により求められる。入力データの粗密は、必要とする精度により調整できるため、作業時間はデータ数により増減する。

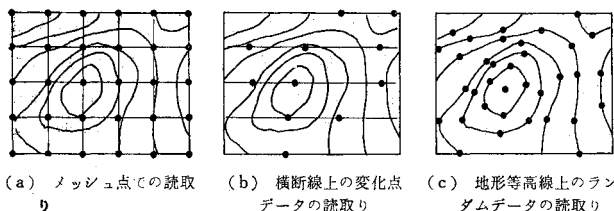


図-1 従来のメッシュデータ作成方法

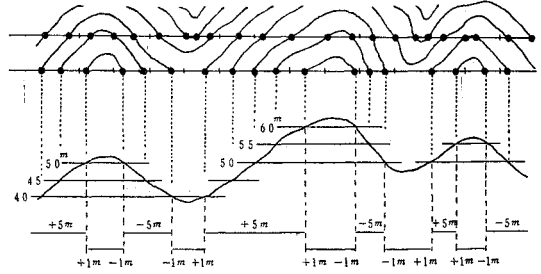


図-2 地形断面の一般形状

この方法では、メッシュ点の高さの精度が近傍点により決定されるため、たとえば、地形が特に緩やかな部分や谷、尾根部分等の等高線密度が粗くなる部分では、さらに点データを追加し、その部分での精度の悪化を防ぐ操作が必要となる。このように、状況を判断しながらの点データの採取が多い地形では作業効率が落ちる。

3. 横断線上での「等高線・点データ」によるメッシュデータ作成法

(1) 「等高線・点データ」の読取原理

近年、土地開発の対象となる地形は、起伏の多い丘陵地となることが多くなった。この地形は、尾根、山腹、谷等からなり、断面形状は、尾根と谷とが交互に繰り返される図-2のような一般形状となる場合が多い。

ここでは、データ採取を容易にするため、高さ方向が等間隔となる等高線の点座標を座標読取装置で読み取り、距離と高さの座標値を得る。この場合、各点の高さは自動的に計算されるので、横断線上の変化点データの読取方法における人間による高さの読取作業が不要となり、作業が速くなる。以後、これを「等高線・点データ」とよぶことにする。このデータを採取するには、図-2の地形形状は非常に都合がよい。つまり、上り下りの一定区間は、ある等高線間隔で単調に増減するため、各等高線位置の高さは、読取開始点の初期値と増分値とが設定されれば容易に求められる。距離は、原点と各「等高線・点データ」の座標値から計算される。これを上り下りの各区間ごとに繰り返す。

(2) 「等高線・点データ」からのメッシュ変換と精度

ここで作成するメッシュデータは、あらかじめ地形図上に作図したメッシュラインの交点の高さに限定される。「等高線・点データ」は、この限定されたメッシュデータを作成するための一時的なデジタルトレインモデルであり、メッシュ値

に変換された後は消去される。したがって、汎用的な目的で作成されるものとは異なる。

手作業でメッシュ点高さを読み取る場合、理想的には、各点の周囲の地形から曲面形状を想定したうえで読み取る。しかし、大量データを速く作成するには、一瞬のうちに等高線間を比例配分して読み取る。このときの読取誤差は等高線間隔の ±10% 程度であると考えられる。

「等高線・点データ」からのメッシュ変換は、手作業と同様に比例配分を用いる。図-3 に示されるように、 i 番目のメッシュ点高さ H_i は、その距離 X_i の両端にある「等高線・点データ」(x_j, h_j)、(x_{j+1}, h_{j+1}) から次のように求められる。

$$H_i = h_j + (h_{j+1} - h_j) \times \frac{(X_i - x_j)}{(x_{j+1} - x_j)}$$

ただし、この式が成り立つのは、 $h_j < H_i < h_{j+1}$ もしくは、 $h_j > H_i > h_{j+1}$ が成立する場合である。

ここで計算された H_i が、人間より正確な値となるのは、座標値が正しく読み取られたとして、次のいずれかの条件を満足しているときである。

- a) 等高線が横断線に対して直角に交差している場合
 - b) メッシュ点を挟む 2 本の等高線が平行である場合
- このような状態でデータを採取できるのは、全体の 10% 程度である。これ以外の場合では、それぞれの

「等高線・点データ」の読取座標に対応した誤差が発生する。近似解法の性格上、多少の誤差は無視するが、さらに精度の高いデータを得るために、あるいは事前に予測し得る誤差の発生を防ぐために、次の点を考慮しながら読取操作を進めるとよい。

「等高線・点データ」が地形図にあるままに採取された場合、それぞれのメッシュ点でどの程度の誤差を発生するかは、瞬間的に判断できる。「等高線・点データ」による計算上の高さ目測による高さとの比較から誤差の発生が予測された場合、比例配分によるメッシュ変換を逆に利用して「等高線・点データ」の位置を変更する。つまり、片方の「等高線・点データ」の位置

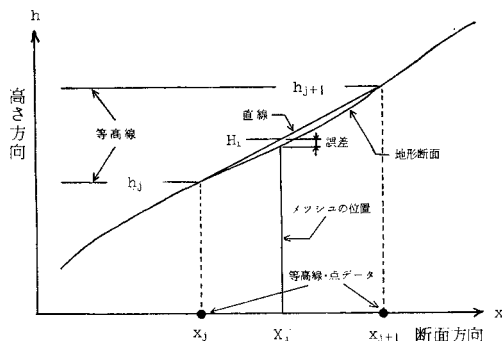


図-3 メッシュ点高さ H_i を求める方法

を、正しいメッシュ値が算出できる位置にずらし採取する。このようにすると、部分的に現実的でない地形形状を仮定することになる。しかし、ここで求める最終的データはメッシュ点の高さであるので、地形形状の変更はまったく問題とならない。

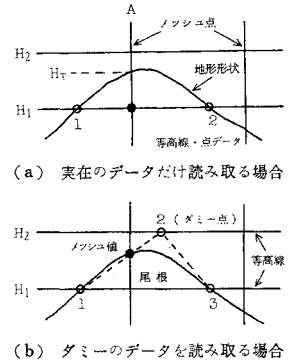


図-4 尾根部における入力例

この操作は、特に尾根部、谷部における勾配の向きが変わる位置を読み取る時に重要となる。図-4(a) では、点 1 と 2 点のデータが採取されたとき、メッシュ点 A の高さは H_1 となり、真の値 H_T とは誤差が生じる。しかし、(b) では点 1, 3 以外に、高さ H_1 に増分値を加えた H_2 というダミーの高さをもつ点 2 を採取すれば、より精度の高いメッシュ値を得ることができる。2 点の平面位置は、求めるメッシュ点の高さを想定した後、高低差の比率 $(H_T - H_1) / (H_2 - H_T)$ と距離の比率 (点 1 とメッシュ点の距離) / (メッシュ点と採取点の距離) が同様となる点を選択する。

さらに精度を上げる方法として、Y (縦) 方向についても同様にメッシュデータを作成し、X (横) 方向と比較し精度の高い方向の結果を採用する方法が考えられる。しかし、この方法は 2 倍の時間が必要となるうえに、断面ごとにメッシュデータに変換できない。また、等高線が横断線に直角に交差しているような断面では、X 方向で採取した方が精度が高いことは明らかでもある。

そこで、X 方向、Y 方向のどちらの断面でも、任意区間のメッシュ点を選択できるようなシステムとすれば、それを等高線が横断線に平行となる部分で用いることにより、精度の高いメッシュデータが得られる。

本方法の大きな特徴は、簡単なメッシュ変換方法を用いること、さらにデータ作成者は、メッシュデータの誤差を予測できるので、安定した精度のメッシュデータを得ることができることである。

(3) 採取方法と操作効率について

「等高線・点データ」を等高線の最小単位、つまり、1 m とか 2 m の等高線の全部の点から採取する場合、地形の勾配とメッシュ間隔の値によっては、1 メッシュ内に 10 本以上も等高線が含まれるケースも発生し、不要なデータのため労力の増加をきたす場合がある。そこで、効率的に「等高線・点データ」を採取するために、尾根や谷部を除いた急峻な斜面部あるいは直線形状をし

た緩やかな斜面部や平坦部では、少なくとも 5m または 10m の太線表示の等高線間を直線とみなして、1m または 2m の「等高線・点データ」の入力を省略できる。したがって、図-2 のように地形の上下変化のサイクルを、(+5m)→(+1m)→(-1m)→(-5m)→(-1m)→(+1m)→(+5m) のような増分値、あるいは 10m と 2m の組合せをもつように読取区間を分け、次に始まる読取開始点の初期値と増分値を自動的に制御可能とすればよい。

また、別の制御方法として、(+1m)→(-1m)→(+1m) あるいは、(+2m)→(-2m)→(+2m) のような上下変化のサイクルを可能とする。

一般的に、機械操作の効率性とメッシュデータの精度とは相反する性質のものであり、精度の予測が可能でなければ、効率化を目指した処理方法を決定することは難しい。この点、利用者が増減値を任意に設定でき、地形形状に適した増減値を選択しつつ、「等高線・点データ」を採取する本方法によれば、精度に対する配慮を行いつつ作業効率を調整することが可能となる。

4. 対話システムによるメッシュデータ作成

(1) 図形処理システムの概要

本システムは、大型電子計算機を用いた TSS 処理により稼働するものである。使用機器は、キャラクター・ディスプレイ、グラフィック・ディスプレイおよびハードコピー、ディジタイザーの各種入出力機器で構成されている。

ディジタイザーは、「等高線・点データ」の平面座標の読取りに用いる。キャラクター・ディスプレイは、本システム全体を制御するが、特に、「等高線・点データ」を採取するため、等高線の初期値と増分値の入力制御を行い、また、採取された入力データを表示する。グラフィック・ディスプレイは、各断面の「等高線・点データ」およびメッシュ変換されたメッシュデータを表示する。

なお、メッシュサイズを 100×100 程度にし、ファイルへの出力方法を工夫すれば、「等高線・点データ」の採取およびメッシュ変換、メッシュデータ出力という主要内容に限り、パソコンレベルでも対応できるものと考えられる。

(2) 格子線の作図

データ採取の準備として、地形図上に格子線を描くことが必要である。正確に作図するためにプロッターを用いる。この作業のためのデータ作成と地形図上への作図は 30 分以内で処理可能である。

ここでの留意点は、対象とする図面の伸び縮みであるが、伸び縮み量が自明の場合は、メッシュ間隔を増減して補正する必要がある。たとえば、縮尺 1000 分の 1 で、500m の距離に対して、図面上で 1.5mm の伸びがある場合、10m のメッシュ間隔は、10.03mm として作図する。プロッターを用いればこれが可能である。この場合、「等高線・点データ」の読取作業でも、10.03m のメッシュ間隔として座標計算に適用しなければならない。作成されたメッシュデータは、10m として利用する。

(3) メッシュデータ作成の手順

メッシュデータ作成手順の概要は、図-5 に示すとおりであり、5つの機能から成っている。これらの機能は階層構造になっており、機能選択メニューにより、作業の状況に従い、任意に実行できる。

読取作業は長時間となるため、作業の中断および再実行が必要となり、メッシュデータの入出力作業を容易にしている。メッシュデータの条件項目は、メッシュサイズ、メッシュ間隔および読取図面の縮尺である。

メッシュデータ作成に先立って、使用図面をディジタイザー上に断面線を水平にセットし、チェック図の表示範囲および座標読取りの原点座標と位置を計算機に記憶させる。使用する図面の縮尺が小さいほど、読取誤差は小さくなる。このような場合、敷地規模により図面が数枚に分割されても、座標読取りの原点座標を任意に設定できるため、部分的なメッシュデータの作成を可能としている。

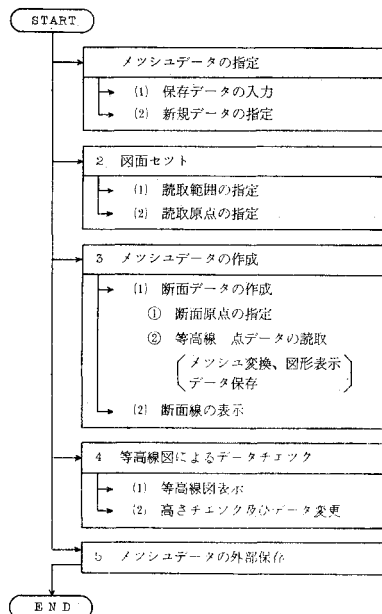


図-5 メッシュデータ作成システム

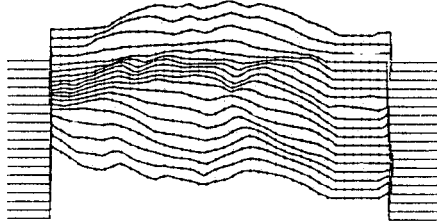


図-6 断面図によるチェック表示

「等高線・点データ」の採取およびメッシュ変換に関する作業では、まず、作成する断面の任意のメッシュ点をカーソルで読み取り、その断面上のメッシュ座標を計算するための基準点とする。同時に断面のメッシュ座標を自動的に計算する。そして、読取開始の等高線の初期値と増分値および増分値の変化サイクルを自動制御する方法を指定し、右方向に連続して「等高線・点データ」を読み取る。増分値が変化するところで読取りを中断すると、次に読み取るべき等高線の初期値と次の増分値が自動的に表示される。また、最後に読み取った等高線の高さ、座標値、前回の増分値、点データの採取番号も表示される。等高線の初期値と増分値に変更がなければ、次の読取りを続ける。一断面の「等高線・点データ」の読取りが終了するとメッシュ変換が行われ、図形画面上に「等高線・点データ」を結んだ断面線とメッシュ高さが、図-6 のように表示される。この時点で「等高線・点データ」は消去される。ここで、メッシュ高さを確認し、必要であれば、同一断面の全部または一部のデータを変更可能としている。メッシュ点のデータ作成は、最初と最後の「等高線・点データ」間だけ行うことにし、部分的な変更を可能としている。

メッシュデータを作成した後、平面的にチェックするため、次節で述べる等高線図によるチェックを行った後、メッシュデータを外部に保存して作業は終了する。

(4) 等高線図によるデータチェックシステム

地形図によっては、等高線の高さあるいはその連続性の判読が困難なものも少なくなく、電算機を利用して読取エラーは手作業と同様に発生する。そのため、作成したデータは必ずチェックされねばならない。データのチェックは、等高線図、断面図、鳥瞰図等により、人間の視覚、図形認識・判断能力による方法が最も効果的である。ここでは、1 m 以下の誤差範囲内のエラーはチェックの対象としない。これは実用上問題とならないし、逆に手作業の場合では、一番注意を払う数値でもあり間違いは少ない。

等高線図を用いたデータ修正方法は、図形表示画面に描かれた不自然な線形部分に読取カーソルを当て、その点の座標と高さを文字画面に表示させる。それを元の地

形図で確認後、ただちに正しい高さに変更する。実用上、等高線間隔は 5 m が適当であるが、自由に選択できることが望ましい。数回再表示して修正した後、メッシュデータを外部に出力するとチェック終了である。

このシステムは手作業によるメッシュデータのチェックにも使用できる汎用的なものとするべきである。

5. 他の計算方法との比較と考察

本方法の精度を求めめるためのメッシュデータの基準値は、手作業でメッシュ交点の高さを読み取ったものとした。これを真の値と保証するため、等高線によるチェックを行い、さらに本方法による値と比較し、読取エラーを修正した。また、作業効率を比較する基準値も手作業による作業時間としたが、データをチェックした時間は含まないこととした。

手作業のほか、現在最も一般的とされる地形等高線上のランダムデータ読取りによる方法でもデータを作成し、本方法の精度、作業効率について論じる。

(1) 比較の対象とした地形モデル

図-7, 8 に示す 2 種類の地形を比較対象の地形モデルとした。これらは、いずれも、メッシュサイズが 21 × 21, メッシュ間隔 25 m, 等高線間隔 2 m (太線 10 m) である。

CASE-1 の地形は、適度な起伏があり変化に富んでいる。本方法にとっては、操作がやや複雑となる地形である。

CASE-2 の地形は、横断方向の地形が本方法の標準モデル形状とよく合致している。

(2) 比較の方法と結果

本方法については、すべて 2 m の「等高線・点データ」による読取方法 (No. 1) と、傾斜面では 10 m の「等高線・点データ」のみを読み取る方法 (No. 2) を用いた。別方法は、ランダムデータの数を 4 段階 (No. 1 ~ No. 4) に変えてメッシュデータを作成した。

精度の比較を正しく行うには、極端なデータエラーを除外しないと一般的な相違を述べることができない。そこで、データチェックをすべてのデータについて行った。しかし、作業時間はおのおのメッシュデータを最初に作成した時間とした。

比較の指標は、作業時間、入力データ数、計算機使用時間 (CPU タイム—IBM 4341-2)、精度とした。

精度については、次の 2 つの条件により論じられるべきである。第 1 の条件は、個々のメッシュ点における高さの誤差が小さいこと、第 2 の条件は、その誤差は十側

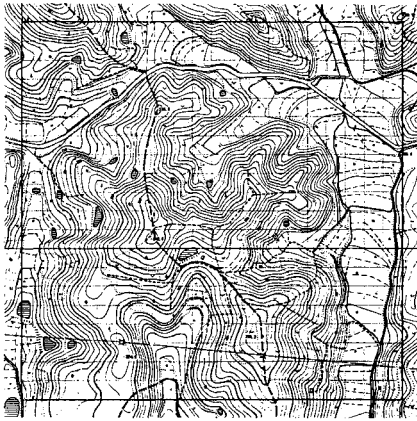


図-7 地形モデル (CASE-1)

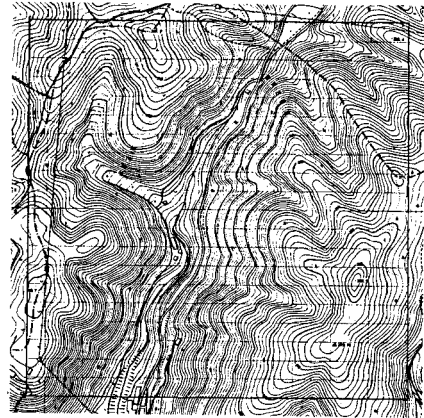


図-8 地形モデル (CASE-2)

と一側に同量ばらつくことである。地形形状を正しく知る必要がある場合、第1の条件が重要である。また、土量計算を行う場合には、両条件を満足させねばならない。特に、第2の条件で十側誤差を合計したものと一側誤差を合計したものの差が大きい場合、計算値の信頼性が低下する。

そこで、十分なチェックにより、真の値とみなし得る、手作業によるメッシュデータを基準値として、各メッシュ点の出合差を求めた。精度を比較するため、全メッシュ点の出合差の絶対値に対して、1点当たりの平均値を算出した。また、全メッシュ点の出合差を合計した値に対して、1点当たりの平均値を算出した。ここでは、これらを出合差の平均値 $\overline{\Delta h_1}$ 、および、出合差合計の平均値 $\overline{\Delta h_2}$ とよぶことにし、数式で表わすと次のようになる。

$$\overline{\Delta h_1} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |H'(i, j) - H(i, j)|$$

$$\overline{\Delta h_2} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (H'(i, j) - H(i, j))$$

ここに、

n : メッシュサイズ

N : メッシュ点総数

$H'(i, j)$: 本方法および別方法によるメッシュ高さ

$H(i, j)$: 手作業によるメッシュ高さ

CASE-1 と CASE-2 の比較結果を表-1, 2 に示す。

(3) 本方法の結果についての考察

出合差の分布状況は、図-9 (a) に示されるように、最大出合差が読取等高線間隔 2 m 以下となり、さらに 0 近傍を中心とした正規分布となっている。

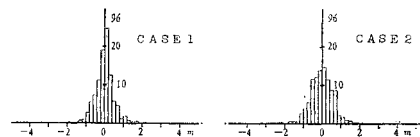
本方法による No. 1 と No. 2 の出合差の平均値は、CASE-1 ではそれぞれ、35.5 cm, 39.5 cm であり、CASE-2 では、45.6 cm, 54.7 cm である。地形勾配の大きな CASE-2 の方が、CASE-1 と比べて精度が悪く

表-1 計算結果 CASE-1

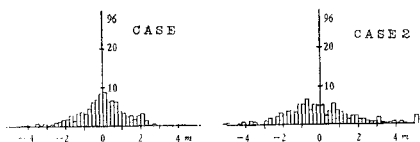
| | 作業時間 (分) (作業率 (%)) | ポイン ト 数 | CPU タイム (秒) | 1点当たりの出合差 (cm/点) | |
|-------------|-----------------------------|------------|-------------------|---------------------|---------------|
| | | | | 出合差の 平均値 | 出合差合計 の平均値 |
| ① 手 作 業 | 140(100.0) | 441 | 9 | — | — |
| ② 本方法 No. 1 | 63(45.0) | 1 440 | 25 | ± 35.5 | 0.7 |
| ③ 本方法 No. 2 | 82(58.6) | 1 130 | 28 | ± 39.5 | 2.1 |
| ④ 別方法 No. 1 | 37(26.4) | 843 | 26 | ±131.7 | 11.3 |
| ⑤ 別方法 No. 2 | 47(33.6) | 1 000 | 35 | ±116.6 | 1.6 |
| ⑥ 別方法 No. 3 | 61(43.6) | 1 196 | 44 | ± 98.0 | 0.0 |
| ⑦ 別方法 No. 4 | 75(53.6) | 1 399 | 55 | ± 95.8 | 2.3 |

表-2 計算結果 CASE-2

| | 作業時間 (分) (作業率 (%)) | ポイン ト 数 | CPU タイム (秒) | 1点当たりの出合差 (cm/点) | |
|-------------|-----------------------------|------------|-------------------|---------------------|---------------|
| | | | | 出合差の 平均値 | 出合差合計 の平均値 |
| ① 手 作 業 | 143(100.0) | 441 | 9 | — | — |
| ② 本方法 No. 1 | 72(50.3) | 2 276 | 25 | ± 45.6 | 2.4 |
| ③ 本方法 No. 2 | 72(50.3) | 1 232 | 27 | ± 54.7 | 6.6 |
| ④ 別方法 No. 1 | 29(20.3) | 701 | 39 | ±206.4 | 107.3 |
| ⑤ 別方法 No. 2 | 39(27.3) | 956 | 43 | ±158.8 | 8.3 |
| ⑥ 別方法 No. 3 | 49(34.3) | 1 118 | 45 | ±145.2 | 7.6 |
| ⑦ 別方法 No. 4 | 54(37.8) | 1 220 | 48 | ±149.8 | 0.7 |



(a) 本方法 (No. 1)



(b) 別方法 (No. 4)

図-9 出合差の分布状況

なっており、地形形状が精度に影響を及ぼすことがわかる。また、10 m の「等高線・点データ」を読み取った No. 2 での精度の低下は、出合差の平均値が、CASE-1

で 4.0 cm, CASE-2 で 9.1 cm となり, ポイント数がより減少した CASE-2 の方に大きな影響がみられる。

また, 出合差合計の平均値は, CASE-1 では, 0.7 cm, 2.1 cm であり, CASE-2 では, 2.4 cm, 6.6 cm である。これについても, 地形形状およびポイント数による影響がみられる。

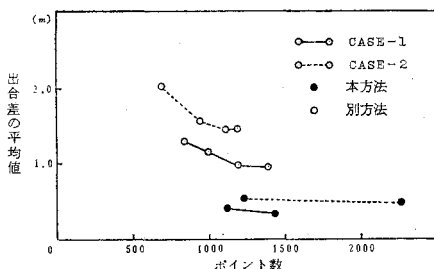
作業時間は, CASE-1 で No. 1 が No. 2 より短くなっている。これは, No. 2 では, 読取区間が小間切れとなること, さらに今回は, 区間ごとの「等高線・点データ」が少ないため, 増分値の切り換え処理に要する時間がデータの読取時間に対して大きな比率となったことによるものである。特に, CASE-1 のような起伏の変化の多い場合に顕著となった。このように, 地形形状あるいは採取データによっては, 必ずしも No. 2 の方法が効率的とはならない場合もある。

また, 手作業による作業時間に対する, 電算機による作業時間の占める比率を百分率で表わしたものを, 作業率という言葉で表現すると, 本方法では今回のメッシュ条件に対して, 作業率は約 50% となった。メッシュ条件が異なると作業率は変わる。仮に 20 m のメッシュを作成する場合, 手作業ではポイント数が $(25 \div 20)^2$ 倍, つまり 1.56 倍となるが, 本方法では, 横断上の作業は同じであり, 横断線の数が 1.25 倍となるだけである。したがって, 作業率は 40% に下がる。10 m メッシュでは, 同様に 20% となり, さらに効率化される。

計画規模が大ききなものであれば, メッシュサイズは, 100×100 に近くなる。これは, 計画地境界の形状を考慮すると作業規模は 15~20 倍であり, 本方法で省力化される時間は大きい。また, メッシュ点の増大に伴い出合差合計の平均値はさらに小さくなるものと思われる。

(4) 別方法との比較

別方法のランダムデータは, 等高線上をほぼ等距離間隔で, しかも変化点に留意して採取した。No. 1 のデータは太線 (10 m) の等高線に対して採取したもので, No. 2, No. 3 は徐々にデータの希薄な細線 (2 m) の等高線部分を追加し, No. 4 は全体を細かく採取し終えた段階である。



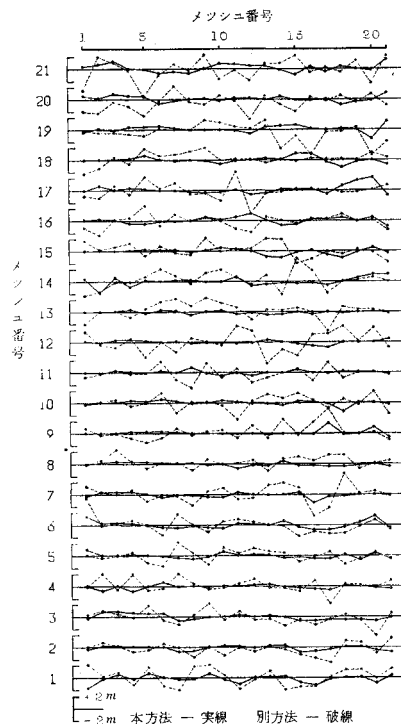
図一10 入力ポイント数と出合差の平均値との関係

入力したポイント数と出合差の平均値の関係を図一10に示した。CASE-1, CASE-2 のどちらも, No. 4 の段階で出合差の平均値が収束している。これ以上のポイントの追加は, 実作業上行われないうえに, 行ったとしても, 本方法と比較して精度がよくならないうえに作業時間も上回る結果となる。

別方法の出合差の分布状況は, 図一9 (b) に示されるように本方法よりばらつきの大きな正規分布となっている。出合差の平均値は CASE-1 では 95.8 cm~131.7 cm であり, CASE-2 では 145.2 cm~206.4 cm となった。本方法では, これらの結果の約 1/3 であり, 精度の高さが実証されたと考えられる。

また, 別方法の出合差合計の平均値は, No. 1 を除くと, CASE-1 で 2.3 cm 以下, また, CASE-2 で 8.3 cm 以下となり本方法と同程度である。

図一11 は, CASE-1 の各断面における出合差の分布である。本方法による誤差は, 傾斜地では水平方向の読取誤差によりランダムに発生している。また, 緩やかな草地や田畑の平坦地では, 点データの間隔が比較的長くなり, 直線近似では合致しない部分が発生している。これはデータの採取方法に起因する。別方法では, 地形形状の変化が誤差に影響を与えている。メッシュ付近の入力データがまばらで, 曲面を表現するのに不十分なメッシュ点が誤差を大きくしている。しかしながら, 全般的には本方法も別方法も, 出合差のプラス, マイナスが比



図一11 各点の出合差グラフ (CASE-1 の場合)

較的均等に分布している。これにより、土量計算のデータとして利用する場合、切土量と盛土量に及ぼす誤差が極端に大きくなるものとは推測される。しかし、本方法の方が、出合差の平均値が小さいため、別方法よりも信頼性が高いといえる。

作業時間は同一精度で比較されねばならない。出合差合計の平均値で比較すると、本方法と別方法は同程度の精度をもち、作業時間では、別方法 No. 3 が本方法より若干短いので、効率的といえる。一方、出合差の平均値で比較すると、本方法は別方法の約 1/3 である。この点では、別方法で本方法による精度を得るには、相当の作業時間が必要と考えられ、本方法の効率性が高いことを示している。

以上に示したように、本システムは、従来の方法の問題点をいくつか解決できた。本方法は、別方法と読取ポイント数が同程度であるが、CPU タイムで比較すると、両 CASE で約 1/2 の計算時間となっている (CASE-1 で、本方法 No. 1 と別方法 No. 4, CASE-2 で、本方法 No. 2 と別方法 No. 4)。これは、別方法の平面座標が 2 次元であるのに対し、本方法は断面方向だけの 1 次元データであること、さらに各断面ごとにメッシュに変換することにより、データ量の計算時間に及ぼす影響が小さいためである。また、比例配分によるメッシュ値の求め方は、手作業と同様であるため、メッシュ値の予測を可能としている。

6. 本方法の利用面について

本方法は、手作業や他の方法と比較して、精度の高いデータを効率的に作成できることを示した。メッシュデータは、地形を認識するために単独で利用する用途も多いが、地形変更に伴いデータを何回も作成する場合、特に本方法は有効となる。

(1) 土工量計算

現況地形および計画高のメッシュデータを作成し、各メッシュ点高さの差の合計に単位面積を乗じたものが、切土量および盛土量である。土地造成計画では、土工量のバランスあるいはあらかじめ定められた搬出、搬入土量の条件のもとに計画高を決定する。ここで、土工量の条件を満足させるために計画高の決定と土工量計算を繰り返すことになるが、計画高の変更ごとに計画高のメッシュデータを作成しなければならない。この場合、本方法を用いると、計画高メッシュデータの作成が効率的となり、その結果、土工量計算の作業が省力化される。

計画高メッシュデータ作成が効率的となる理由は、次のようである。

a) 本方法は、現況地形データあるいは前回の計画高データを入力データとし、計画高メッシュデータのような部分的な変更によるデータの置換処理を行い、新たにメッシュデータを作成することができる。

b) 計画高メッシュデータの作成では、任意の変更区間ごとに「等高線・点データ」を読み取ることにより、その区間のメッシュデータを置換することができる。さらに、計画地形では、一般的に形状が平坦となるため、読み取るべき「等高線・点データ」の数が、現況地形と比較して極端に少なくなり、データ作成時間が大幅に減少する。

一方、手作業では、変更部分に関して現況地形と同数のメッシュ点を読み取り、転記するため、読取作業はたいして効率的とならない。また、三次元のランダムデータを取り扱う他の方法では、データの一部変更は容易ではない。

(2) 地形縦横断データの作成

土地造成計画および道路、鉄道の路線計画では、各種の縦横断図を作成する。メッシュデータおよびランダムデータは任意地点の高さを近似的に求めることができるため、現況地形断面の高さを得る基本データとして利用される。しかし、メッシュデータがなかったり、あっても必要とする精度を得るにはメッシュ間隔が大き過ぎるなどの理由により、路線上的変化点データを手作業で作成する場合、大変な労力を費やしている。

本方法の基本的な原理は、断面線と交差する等高線との交点データを効率的に入力することである。この考え方は、メッシュデータ作成以外にも利用できる。

路線の平面線形に曲線が含まれていても、始点から読取地点までの延長距離の計算は簡単である。路線の場合は形状を表現するのが目的であるため、誤差は読取入力のずれだけである。入力する等高線高さの選択は、使用目的により決定される。

この方法によるデータ出力は、3通り考えられる。1番目は、データ作成のためだけのシステムにより、距離-高さデータを作成する方法。2番目は、既存のプログラム (たとえば、道路縦断図作成、排水縦断図作成プログラム) のデータを読み込み、地形データを追加して元に戻す方法。最後は、対話形式で個別の縦横断図作成システムを使用する方法である。

いずれにしても、作業の省力化に貢献することは疑いもない。

7. おわりに

著者らは、「等高線・点データ」という新しい考え方

を取り入れた地形に関するメッシュデータの作成方法を提案し、従来の方法との比較を行った。その結果、次のことが明らかとなった。

(1) メッシュデータの作成に必要な作業時間は、手作業の30%~50%となる。必要時間の目安は、縮尺2000分の1、等高線間隔2mの地形図で、メッシュ間隔20m、メッシュサイズ50×50(2500ポイント)のメッシュデータを得る場合は約8時間である。さらに、メッシュ間隔を10m(10000ポイント)とした場合でも2倍の時間でよい。

(2) 各メッシュ点の精度は、手作業では読取誤差として等高線間隔の10%程度であるのに対して、本方法では20%~30%となる。これは、従来の等高線上のポイントデータの読取方法と比較して、約1/3の値であり、本方法が高精度のデータを得ることを実証した。

(3) 各メッシュの出合差を合計したものの1点当たりの平均値は、従来の方法と同程度で3.5%以下となり、本メッシュデータを土量計算のデータとしても問題とならない。

(4) データ作成者は、読取効率と精度の関係を認識できるため、データに対する信頼性を確信できる。

(5) 本方法は計画地形のメッシュデータを作成するときに、現況地形のメッシュデータの作成時間よりかなり効率的となり、粗造成計画における土工量計算の繰り

返し作業を省力化することも可能である。

「等高線・点データ」の考え方は、各種断面図の現況地形形状の作成にも利用可能である。この方法が、地形データに関係する分野での効率的処理に貢献することを期待したい。

最後に、本論文の作成にあたり、(株)大林組 板橋瑩二氏、三枝熙和氏には、終始適切なるご指導とご助言をいただいた。また、名古屋大学 河上省吾教授から貴重なご指導とご鞭達を賜った。ここに記して感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 東京大学生産技術研究所：地形情報の抽出とその自動処理，昭和44年7月。
- 2) 内山久雄・中村良夫：マンマシンシステムによる環境影響評価をとり入れた路線選定，土木学会論文報告集，第284号，pp. 65~72，1979-4。
- 3) 滝沢克己・奥村直樹：大型計算機の活用—土地造成計画等，土木学会誌，pp. 26~29，1982年5月。
- 4) 河野 彰：航空写真測量による大規模土工工事の土工量管理，測量，pp. 11~18，1975年4月。
- 5) 浜嶋敏一郎：対話形式による宅地造成計画システム，第20回IBMユーザーシンポジウム論文集，pp. 79~106，1982-6。
- 6) 浜嶋敏一郎・板橋瑩二：設計者の思考過程を考慮した対話形式による造成計画，土木学会論文報告集，第333号，pp. 155~163，1983-4。

(1983.4.27・受付)