

DTMの自動作成と土木計画への応用

(株) 構造計画研究所 萩原 靖之

○ 味生 威

出水田 勉

1. はじめに

建設工事に先立つ調査・計画に於ける航空写真測量の利用、および計画設計面での電算機の利用は、それぞれ従来の業務を著しく省力化へ導きつつある。しかしながら従来の実務を考えた場合、例えば大規模土工計画にみられるように、設計者は地形図を前にして地形図上へのメッシュの記入とかが格う桌上的標高座標値の読み取り等地形データの作成作業に煩わされ、それが建設工事における計画プロセスのシステム化を阻害している。工事の大規模化に伴いDTM (Digital Terrain Model 数値地形モデル) 作成労力も大きくなり、ますますDTM作成の自動化が要求される時分である。筆者らは、この入力作業の煩わしさを省くために、写真測量による地形図作成段階で自動的に地形データを採取できるようなシステムを意図し開発した。DTM採取手法の提案は既になされており、採取に際する機器も高精度のものが作られているが、直接写真から採取する実用システムは、未だ存在していなかった。DTMに基づけば (1) 現況の分析・評価 (2) 机上設計のトライアル は容易となりある条件下での最適な計画へのアプローチも容易となる。以下、DTM採取のためのハードウェア、DTMの作成方法、DTMの精度、DTMの土木計画への応用例について記す。

2. オリジナルDTMの採取手法と採取条件

航空写真を利用してDTMを採取する方法としては、フィルムにメッシュをかぶせ直接格子点を読み取る場合が多い。筆者らは計画設計には地形図は不可欠であるとの見解により図化作業時にデータ採取することを考えた。すなわちステレオモデル上のコンタに沿う図化機の移動量 (Z.Y. 方向) をコンタのレベル別にA/Dコンバータで0.01mm単位の数値に変換し、電算処理時に必要な制御データを加えて磁気テープに記録してゆく。本手法では、コンタのみならず道路・主要構造物・土地利用境界等の写真から得られる全ての環境情報が記録できることがメリットであり、これらの環境データは土木計画等に有効に利用できる。これらの全てを含むデータファイルをオリジナルDTMと称する。オリジナルDTMの採取過程は、全てハードウェアシステムに依り、既存の空中三角測量用のシステム構成を利用した。写真1に示すように、実体図化機にプロگرام採取装置を付加し、MTコントローラ・MTユニットを新たに追加してオリジナルDTM採取システムとした。採取条件としては、コンタ間隔とサンプリング間隔とが挙げられ、これらは図化作業に先立ち指定できる。採取モードはマニュアル、等時間間隔、等距離間隔のいずれでも選択できる。また等時間間隔モードを用いれば、地形の変化の激しい所では自動的に密なデータが採れるメリットがある。磁気テープの記録容量、図化

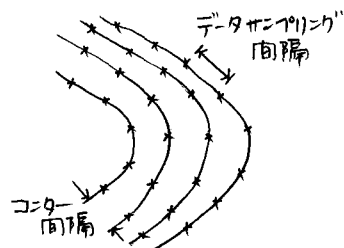


図1 オリジナルDTM採取法

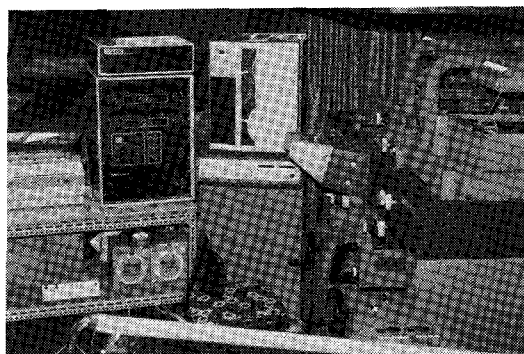


写真1 オリジナルDTM採取システム

作業工程の許す限りあらかじめ密なデータを採っておけば、以降のデータの利用目的に応じてソフトウェアを用意することでデータ密度は自由に変更できる。作業体制、能率の面をみると、普通の図化作業の他にDTM採取時にはオペレータが1人余計に必要となり、図化速度は幾分低下するが、表1に示す如く他の工程は全く乱されない。オリジナルDTMを再現したものを図2に示す。

作業種別	通常業務時	DTM採取時
細部図化 (1 Km ²)	技 10人日 助 10人日	技 14人日 助 14人日
正指(素図整理)	技 13人日 助 12人日	同左
製図	技 13人日 助 12人日	同左
撮影計画から製図までの総人工	195人日	203人日

表1 オリジナルDTM採取人工

3. 設計用DTMへの変換とその精度

オリジナルDTMはそのままで増強に利用することは困難であるため、以下に述べるような変換過程を経て設計用DTMに変換される。オ1に膨大な原データ量から計画設計目的に応じたデータの抽出を行い、電算処理時間の短縮を図る。おなわち計画設計の対象となる最小限の地域を指定し、必要な精度を確保するようにデータの周回を指示し、計画設計に必要な情報(例えば、既設道路とコンタ)を指示してデータの抽出を行う。オ2にオリジナルDTMでは系列の座標は、図化機の機軸座標系で得られているので、図化範囲の4隅の既知点を用いてヘルムート変換式により測地座標系に変換を施す。オ3に抽出されたコンタ上の点データについて電算処理を行いやすくするため格子変換する。格子変換の方法は、地形の起伏をできるだけ忠実に再現するため、格子点を中心とした円の中に含まれるコンタ上の点を用いて2次曲面を求め(このとき格子点からコンタ上の点までの距離の2乗に反比例する重みを付けて最小自乗法を適用する)格子点の標高は、2次曲面上の点として補間される。他の方法として1次平面による格子変換も考えられるが、平坦な地形には処理時間が短縮され有効であるが、山間部のような起伏の激しい所では精度的に問題が残ると思われる。コンタ上の点数/格子点数(格子変換比とよぶ)と補間値の精度(すなわち標高残差)の関係は、一般的には格子変換比が大きければ標高残差は小さくなるが、電算機のコア容量および処理時間の制限から格子変換比が大きすぎると処理できる地域の範囲が限られてくる。筆者らが検証した結果では、格子変換比は2~3あれば十分でありそれ以上にしても精度的な向上は大きく認められなかった。

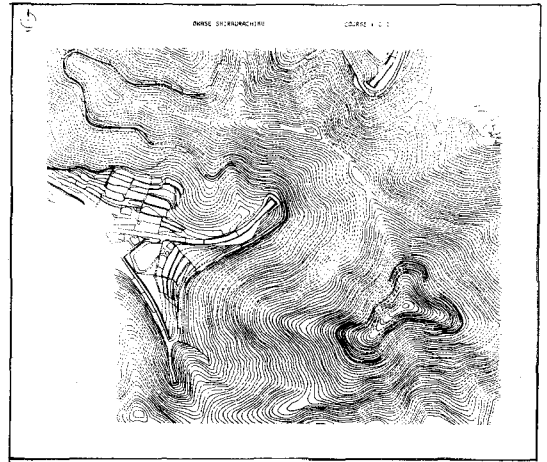


図2 オリジナルDTM再現図

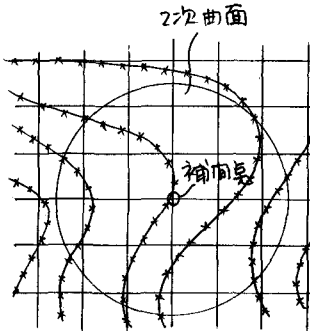


図3 格子変換

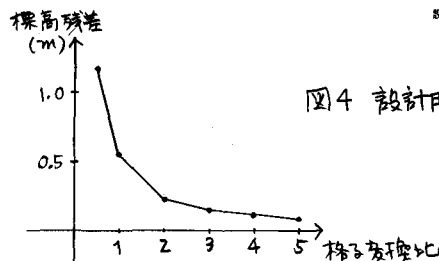


図5 格子変換比と標高残差

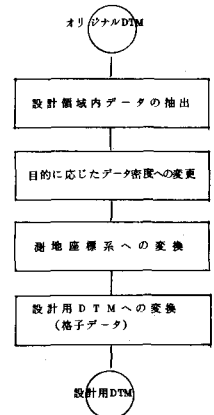


図4 設計用DTMへの変換過程

4. DTMの計画設計への応用

前章で述べたような経過によって得られた格子DTMは、あらゆる方面の土木計画に利用できる。筆者らがこれらに活用してきた例は

- (1) 地形環境把握に基づいたニュータウン・マスタープランの作成
- (2) 大規模宅地造成における整地設計
- (3) 山岳工事中道路の路線選定

等である。これらの応用から、筆者らはDTMが建設工事における選定計画、線形計画、断面計画に利用できる自信を得た。ここでは道路の路線選定に利用した事例をより具体的に述べる。道路計画の手順は、実施主体および規模によって多少異なるが(1)道路の概略設計(縮尺 1/50000 ~ 1/25000) (2)概略設計(1/5000 ~ 1/2500) (3)実施設計(1/1000 ~ 1/500) の3段階が考えられる。筆者らの対象とした道路は山岳の工事中道路であり、設計用DTMの条件としては

航空写真撮影	飛行高度	: 1300 m
	写真縮尺	: 1/8000
DTM採取	地形図縮尺	: 1/1000
	面積	: 30 ha
	サンプリング間隔	: 0.3 秒
	コンター間隔	: 2 m

この条件で採取された原データの密度はコンタ沿いに地上換算で約4~5mとなり、格子状に変換すると約3m格子に相当する。路線選定および概略設計を意図したDTMは、設計対象領域を網羅した10m格子DTMとし、路線が決定された後の実施設計を意図したDTMは、路線沿いの巾50m程度の帯状の格子DTMとした。設計の過程を図6に示す。概略設計の第1ステップでは、あらかじめ決められた条件(たとえば道路の始点、終点、通行不能領域等)を満足するようないくつかの候補ルートを地形図上に設定して、DTM上に平面線形の座標を与えてやる。格子変換と同じ補間方式を用いることにより線形に沿う現況地形の縦断面図を作成する。第2ステップでは候補ルートごとの縦断面図に計画高を記入して縦断線形を与える。横断方向の現況高も補間し、計画高、法面勾配から土量計算、横断面図作成を行い、同時に縦断勾配、路線長を計算する。それぞれのルートの結果から設計者は適、不適を判断し、採用されそうなルートについては更に部分的な修正を加えて、再度設計のやり直しを行いながら設計精度を高めてゆく。路線のペーパーロケーション、計画高の設定・修正は非常に簡単であるので、数多くの路線の比較検討が短期間にできDTMを利用した路線選定はよりよいルートの決定に十分寄与した。実施設計の段階では、概略設計で最良ルートが選ばれているので、DTM自体の精度および設計精度(平面線形、計画高)の両精度を高めて、概略設計と同様なくり返しを繰り返してゆく。

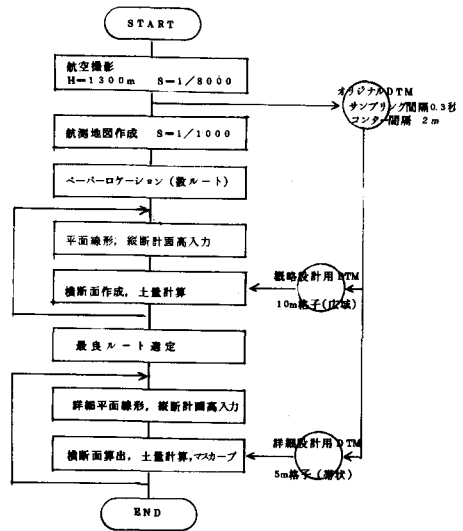


図6 道路計画の手順

5. 考察

以上、システムの内容、運用例について述べたが、最後に開発によって得られた成果と本システムの将来性について考察する。

成果

- (1) DTMの採取は図化作業工程をほとんど乱すことなく図化と同時にでき、また格子DTMへの変換も電算処理によるためDTMの作成が極めて短期間にできる。
- (2) オリジナルDTMは広域性・高密度を有しているので設計用格子DTMに変換するに当たり、領域・メッシュ長は設計のレベル・目的に応じて柔軟に変えることができる。
- (3) 格子DTMの格子点標高値の精度は、格子変換比が2〜3あれば計画設計に際しての支障がない。
- (4) DTMファイル中には、コンタデータのみならず主要点・道路・河川・土地利用状況等の情報も収納できる。
- (5) 道路等設計面では、数ヶ所の候補案の比較検討を行う場合、設計変更に対する応答が早くよい計画設計の決定に十分寄与できる。

将来性および問題点

- (1) 現在コンタ以外の諸データは、オリジナルDTMの段階で留まっておりせいぜいオリジナルDTMの再現図を描くことに使われているにすぎないが、こゝろを加工して有効に計画設計に反映させれば広い視野に立った計画設計が期待できる。
- (2) 本手法では、航空測量の有する標高値の精度をそのまま受け入れているため、実施設計への展開適用には難点を有するが地上測量値を用いてDTMを修正することにより実施設計への対応も十分可能と思われる。
- (3) 格子変換の際に、補間処理に時間がかかり過ぎる傾向にありまたコア容量の制限から一度に処理できる領域が限られているので、データ構成を練り直し補間処理をより能率よく行う必要がある。
- (4) 実施設計に際しては、アプリケーションプログラムの強化を計る予定である。
- (5) オリジナルDTMの採取システムのハードウェアは、フレキシビリティの高いミニコンシステムを採用すべきであった。

最後に、本研究の成果検討のために種々便宜を計って頂いた電気公社建築局関係各位、本研究の特にハードウェア部門を担当された日本航業株式会社、また本研究に際し終始指導・助言を頂いた構造計画研究所所長 戸部正氏に厚く謝意を表する次第である。

参考文献

- (1) 村井・白・藤田 「デジタル Terrain モデルとデジタルフォトコップの手法に関する研究」 写真測量 Vol.13 No.1 1974
- (2) 中村・村井 「Digital Terrain Model」 生産研究 20巻 8号 1968
- (3) 丸安・村井・大林 「路線計画および設計を対象とした帯状デジタル Terrain モデルの作成」 写真測量 Vol.10 No.2 1971
- (4) R. シュヴァーベル 「写真測量モデルのデジタル化への新機軸」 写真測量 Vol.10 No.1 1971