

## 写真測量技術の新しい道路設計手法への応用

丸 安 隆 和\*

### 1. ま え が き

写真測量は、測量という文字から多くの人が想像するであろうイメージ——単なる地図づくりとはいちじるしく異なった最新の技術として発展を遂げている。特に、写真測量を電子計算機と組み合わせて使うとき、また精密三次元測定の方法として使うとき、誠に広い応用面を見出すことができる。

わが国でも、この方面の研究開発が非常に活発に進められ、その成果は国際的にも高く評価されるようになった。このことが契機となって、国際写真測量学会の行事の一つとして、特に「写真測量の土木工学および一般工業への応用」に関する国際シンポジウムが、1966年10月東京で開かれた。このため、数多くの有名な専門家が海外から訪ねてきた。いままでも、われわれは、できるだけ論文を通じ、また国際会議などで講演を行なって、日本の実情を世界に紹介することに努めてはきたが、何分にも言葉の障害があって、十分にその意を果たすことができなかった。

しかし、シンポジウムに出席した世界の権威が、現実に日本の実情を目で見るにおよんで、あらためて日本の技術的レベルの高さに驚き、日本の現状を再認識したといっても決していい過ぎではないと思われた。

写真測量の土木工学への応用の中で、最もその実績をあげたものの一つとして、これを電子計算機と組み合わせて道路の自動設計、製図を行なう方法に応用しようとしたことがあげられる。アメリカで始められたこの技術は、すでにヨーロッパのいくつかの国でも研究され、実用化されている。日本でもこの研究は国際的にも相当高く評価されるまでになっているが、まだ実用化されていない。しかし、遅かれ早かれ、この世界のすう勢にしたがって、このような新技術の導入も考えなければならなくなるであろう。土木学会では、この分野の諸権威の

来日を機会に特別講演会を催おしたが、誠に時機を得たものであった。ただ残念なことは、講演予定者であった Prof. H. Kasper (スイス・チューリッヒ工科大学)、Dr. Ternryd (スウェーデン道路局)の2人の権威が都合で来日されなかったので、特に送られてきた原稿を邦訳し、本誌を通じてその概要を紹介することにした。

この小文は、これらの論文を読まれる人のための手引きとして、その経緯と考え方をまとめたものである。

### 2. 道路の automatic design の意義

大戦前、ドイツでは四車線の自動車道がすでに数千 km にわたって建設されていた。しかし、その理由は、今日のように自動車の急増によるものではなく、多くの人々の救済のため、また経済恐慌の回復のために行なわれたものであるといわれている\*\*。

戦前には、十分な人手を使うことができたので、土工も人力で行なわれたが、現在は、このような仕事に人手を得ること、特に熟練した専門家を得心することは、どの国においてもそう容易なことではなくなった。このため、道路工事における合理化が切実な問題となり、人手をできるだけ使わず、かつ迅速に工事を進めることが必要となってきた。

工事現場における合理化が、まず大規模な機械施工によって始められた。このため工事の迅速化が実現できた。しかし、その後に残された問題は、建設計画がますます大規模になることが拍車をかけて、計画、設計、製図の作業を迅速化することの必要性がますます高まってきた。しかも、これらの作業が最高の内容をもつものでなければならぬのであるから、特に経験のある熟練者が必要となるわけである。このような人がそう手易く養成できるものでもなく、集めることもできない。

また、現在の good road design とは、建設のための経費や日数が少なくすむというだけではなく、維持

\*正会員 工博 東京大学教授 生産技術研究所

\*\*この部分は土木学会における Dr. Blascke の講演から引用

や自動車運転の経費が少なく、さらに高速化にともない、自動車交通に対して十分安全を確保できるものでなければならぬことになっている。

これらの点を考えると、できるだけ多くの種類の路線について、最小の時間内で、調査ができ、比較検討することが必要である。調査に必要な正確な情報が迅速に集められなければならない。

これらの情報の中で、比較設計に最も重要なもの一つは地形に関する資料である。実際工事予定地をすべて測量すること——特に設計の段階においてはなかなか困難なことで、多くの日数と経費を要することになるであろう。航空写真測量は、この目的のために十分正確かつ迅速にその資料を提供できるようになり、多くの可能性から最良の路線を選定するのに役立つのである。

データ処理の迅速化は電子計算機により、データの抽出は航空写真による——この組み合わせは、good road design に非常に有効な手段となってきたわけである。

### 3. 地形の表現の仕方（数値写真測量の導入）

写真測量とは、被写体のもっている情報を、写真フィルム上に記録し、これを抽出し、変形し、その用途に応じた形に表現するシステムである。

測定の目的で行なわれる写真測量は、二つの異なった点から撮った一対の写真を用いて行なわれる実体写真測量（Stereophotogrammetry）が主体となる。

写真測量のシステムを実行するのに、つぎの三つの方法がある。

- (1) 解析的方法 (Analytical Method)
- (2) 図解的方法 (Graphical Method)
- (3) 機械的方法 (Mechanical Method)

これらの方法は、それぞれ単独に用いられることもあるが、組み合わせて用いることが多い。たとえば、いずれの方法を用いるにしても、その成果は地図のように graphical な表現を用いるなどである。

図解的方法では、一般に得られる精度に限界のあることは特に注意しなければならないことである。

解析的方法は、一対の写真上で対応する点の写真座標を測定して、その点の空間位置を計算で求める方法で、いわゆる解析写真測量 (Analytical Photogrammetry) といわれる分野である。この方法では、平面座標を測定するという、測定の中でも最も基本的な長さの測定であるから、それほど熟練を要しないこと、長さの測定の精度をあげれば、高い精度を得ることが可能であることなどが利点であって、測定する点の数がそれほど多くない場合に利用して効果的である（たとえば空中三角測量など）。

機械的方法は機械を用いて行なう作業を意味しているが、ここでは特に実体図化機 (Stereoplotter) を用いる方法を考える。

実体図化機では、実体的に撮った2枚の写真をそれぞれプロジェクターにかけ、これを撮影したときのカメラと同じ関係位置になるようにセットし、もとの地形の縮小モデルをつくる。そして、このモデルを地上の座標系に適合させる。このようにしてつくられた写真模像 (Photogrammetric Model) について、高さを規正し、平面上を自由に動かすことのできる浮標を使って地形要素を測定するのである。

この場合、測定する対象が、連続した線または面で構成されており、測定結果がまた連続した線や面で表現されるとき、この作業を Analog System といい、等高線地図をつくる場合はその例で、実体図化機を用いて行なう作業のうち、最も重要な役割となるものである。

しかし、実体図化機を用いて、連続した線や面の上にある点を不連続に測定することができる。写真-1 は実体図化機と付属座標記録装置で、測定しようとする点一つ一つについて、その  $x, y, z$  の座標を自動的に、タイプし、テープにせん孔できる機械である。これによって

写真-1 実体図化機と座標記録装置

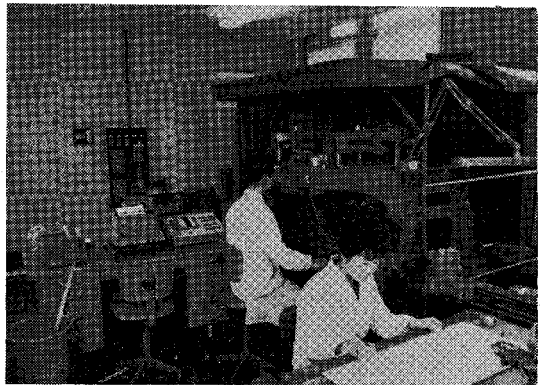
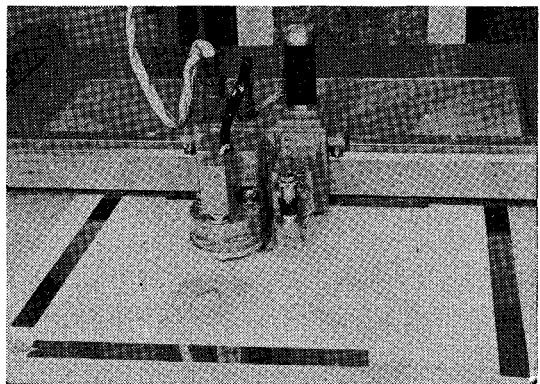


写真-2 数値制御による自動製図機



digital form で地形を表現し、記録することができる。このようにして表現したものを digital terrain model (数値地形図) という。digital terrain model をつくり、これを計算機で処理して行く System を数値写真測量 (Digital Photogrammetry) とよんでいる。

視覚によって感覚的に地形、地物を判断する場合や、ペーパー ロケーションを行なう場合などには、analog form で表現する方が都合がよく、計算機と直結して、その input data として用いる場合には digital form が便利である。analog form は人間向き、digital form は機械向きであるといえる。いずれの場合も、道路設計に関するいろいろなデータを、各設計の段階でよりよく理解する上にきわめて重要な役割を果たしている。それぞれの利点を十分に生かして、ある場合には digital から analog へ、ある場合には analog から digital へと必要に応じて変換し、good road design をできるだけ能率的に行なうことが大切である。いかえると man-machine system をつくり出す新しい方法として取り入れることが必要となる。これによって、計算機の容量の不足も補えるし、またそれだけ経済的にかつ能率的に作業ができることにもなる。

#### 4. Digital Terrain Model の役割

現在写真測量を土木工事の設計に利用するにあたって重要な問題の一つは、写真測量で最も経済的かつ実用的に地形の表現をするには、どんな方法によるのがよいか、ということである。この問題は、道路の自動設計が始められて、いっそうその重要性が加わった。

この問題を解決するための解答は、『もっとも効果的な digital terrain model を開発する』ということにつきるようである。すでに何年も前に M.I.T. の Prof. Miller は、digital terrain model の考えを道路設計に導入し、そのプログラムをつくった。ただ、彼は terrain をつくるのに格子点を用いる方法を提案したが、この point grid の方法で、詳細設計を行なうには、非常に密に点を配置することが必要であり、これらの点を測定し、貯えるのは経済的ではない、という理由から実用にはならなかった。

しかし、横断測量などしないで、代表的な terrain point の座標値だけを計算機に feed するだけで、道路設計ができるという時期は必ずそう遠くない将来にくるであろう。このためには、できるだけ数少ない点で地形によく近似した model をつくるには、どのように点を選ぶのがよいかの問題を解決することが最も重要なこととなる。

#### (1) 地上測量でつくる地図と digital terrain model との相違

地上測量で地形図をつくる時、適当に点を選んで高さを測定し、それらの点の間の勾配は直線的に変化すると仮定して高さを求め、等高線が描かれる。このようにして求めた中間点の高さに誤差があれば、最初の測点の位置の選び方が悪かったのである。

これに対し、digital terrain model では、点で地形を表現するという点では変わらないが、その中間点の内挿の仕方が全く異なっている。この場合、点の間は直線的な変化であると考えする必要はなく、地形によくあった高次の関数を用いて内挿することができる。内挿にどんな方法を用いるかは、使用する計算機の能力によっても変わるが、digital terrain model の近似度を高める上でも、また経済的にも重要な問題であり、Prof. H. Kasper は、後の論文でこの点をくわしく論じている。また、内挿の方法は、土量計算の精度と密接な関連をもっている。

#### (2) Digital Terrain Model の作成

digital terrain model は、現在航空写真を用いて図化機内につくられる stereo model (立体映像) からつくられているが、将来もおそらくこの方法が用いられるであろう。

実体図化機で航空写真を測定するとき、1点ずつ別個に測定した高さは、連続的に描かれる等高線の高さにくらべて、約2倍の精度があるといわれている。特に、植生があつたりして見にくいところでは、その中で特に見易い点を選んで測ることもできるから、その付近の測定精度を確保できる。しかし、森林などで地表の見えないところでは別に地上測量の方法で補測しなければならない。

stereo model は、土木工事の目的から地形を判断するのに便利に利用できる。地図をつくらなくても model の上で比較検討もでき、ここで予定路線を決めることもあるぐらいである。したがって、図化機のオペレーターは、計画されている土木工事の種類や内容についてよく理解し、測定する点の選定や測定精度に十分な考慮を払い、用途によく適した測定ができるようにしなければならない。これが新しい system を完成する基礎となるといってよい。したがって写真測量の側からいえば、新しい開発技術にとりなりオペレーターの養成のため再教育も必要となるであろう。

#### 5. 道路設計の新しいシステム

技術的問題——もちろん土木工学も含めて——は、最

適を探索するという条件のもとで、総合的な観点から、あらゆる可能性について検討し、解を求めて行くという時代になってきた。しかし、このような作業が遂行されるためには、土木工学に含まれるすべての分野で生ずる広範囲の問題に、きわめて能率的に解を与えて行くシステムの開発が必要である。

最近の電子計算機の発達は、高価で、スピードが遅く、メモリーの容量が小さいということによって生ずる制限を取りのぞき、計算機に、技術者のパートナーとしての役割を果たすことができるような情勢をつくりつつある。

これからの道路の計画および設計も、このような立場に立って進められなければならないだろう。アメリカの State Highway Department の事例は、このシステムの中で重要な基本の一つ『計算機は技術者に容易に理解できるような形式で、解および情報を提供すべきである』を実用化した。ここでは、技術者に対して理解しやすく、かつ利用しやすい形で output を造り出す図化装置を非常に有効に利用しているのである。

道路設計に関係する要素の中で最も重要なものは、地形に関するデータである。このデータを取り出す手段として写真測量は非常に有効であることは前述した。航空写真は、地形のデータのほかに、地質や土質についてのデータも提供する。

地形のデータを計算機に入れるには Digital Terrain Model が使われるが、さらに、これに土質、地質その他の資料も組み合わせでつくった Digital Super Terrain Model が、これから取り上げられるであろう。

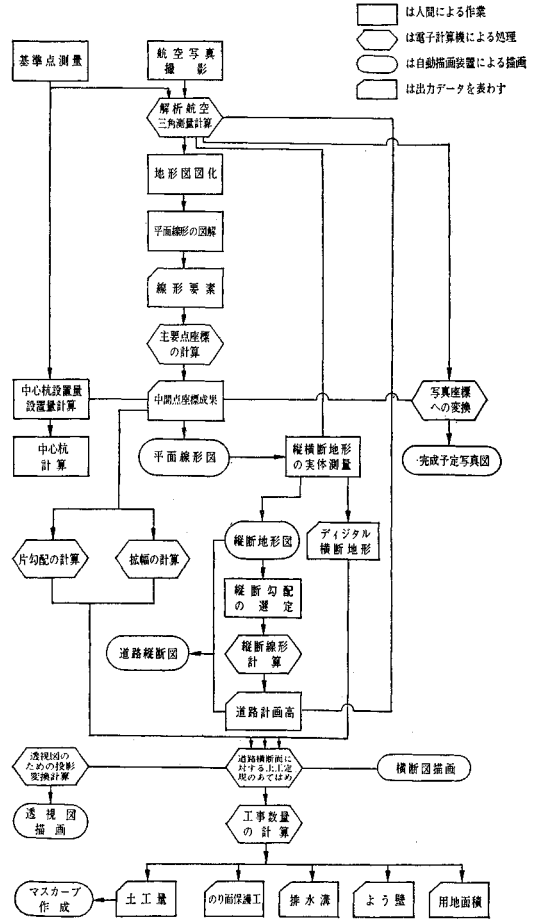
写真測量と電子計算機を組み合わせによる道路設計は、このような最適設計への最初の実用化である。その詳細については Proc. of Interational Symposium, Tokyo, 1966 が参考になるであろう。

これらの中には『最適設計の結果を製図に移す最終段階が自動化された』という成果も含まれている。縦断面図、横断面図、平面線形はいうまでもなく、透視図の自動製図、これと写真とのモニターによる安全性や景観に与える影響なども容易に検討されるようになった。

さらに、道路に付属する構造物——たとえばよう壁、カルバート、簡単な橋（橋脚、橋台を含めて）など——の自動設計、自動製図も可能になり、いままで非常に時間と労力のかかった作業が次第にマシプロシステムとして自動化されようとしている。新しい時代の流れは、熟練した技術者を、いかにその能力を新しい創造のみに向けることができるかを常にうながしつつ進行しているようである。

図-1 はこのような観点から道路の実施設計をみた

図-1 道路設計におけるフローチャート



きの作業の流れの一例を示している。

## 6. 最後に

写真測量と電子計算機との組み合わせは、これを土木工事に利用したとき、きわめて有効な手段となることは、道路の自動設計においてすでに立証された。

この方法は、いくつかの問題を解決することによってそれほど困難なく他の土木工事の計画や設計に対して、さらに多くの応用面を見出すことが可能であろう。しかし、そのためには、特に広い分野にわたっての深い知識をもつ有能な技術者が不可欠であり、さらに土木技術者と写真測量技術者のいっそう緊密な協力が必要である。残念ながら現状では、写真測量についての知識の深い土木技術はきわめて少なく、写真測量技術にもまた土木技術に堪能な人がいない。このすぐれた構想による道路自動設計法が契機となって、写真測量の真価を土木技術者があらためて認識を深め、新しい利用の道が開発されることを祈ってやまない。