

CADをベースとした平板測量システムの開発

服部 進*・長谷川 博幸**・上杉光平**

トータルステーションとラップトップパソコンを接続し、CADを使って現場で完成品に近い図面を作成することができる地形測量システムを開発した。特徴は次のようである。(1)現場で図化するため誤りが起こらない。(2)後方交会法で機械位置の決定(free stationing)ができる。(3)空中写真測量のデータから地上測量データまでの全工程の入力から出力まで共通のCADをベースとしたデジタルマッピングシステムに組み込んであり、データの管理が柔軟である。

Keywords : topographic survey, CAD, digital mapping, plane table surveying system

1. ま え が き

デジタル地形図は表示や改訂が柔軟に行えるため、最近急激に需要が高まっている。たとえば通常の地形図としての利用のほか、土木工事用のCAD¹⁾に、またさまざまな目的ごとの土木建築の施設管理や行政支援システム(広く地理情報システムとも呼ぶ)^{2),3)}のデータベースマップとして、あるいは車などのナビゲーションシステム⁴⁾の地図として用いられるようになってきている。

デジタル地形図を新たに測量して作る場合(この技術を一般にデジタルマッピング^{5),6)}と呼んでいる)、規模の小さなものは地上測量で、また規模の大きなものは空中写真測量で対応している。空中写真測量ではデジタルマッピング技術がかなり定着している。ただしこの場合も都市域の図化であれば高い建築物の陰になって写真に写らないところが多いため地上測量による補測が必要である。

我々はトータルステーションをラップトップパソコンにつなぎ、観測を行いながら同時にCADを動かす新しい地上測量(とくに地形測量)システムを開発し、デジタルマッピングシステムの一つとした。この論文はこの新しいシステムを紹介し、構造、機能、特徴、作業効率などを従来の地上測量と比較して論じる⁷⁾⁻¹⁰⁾。

これまでの地形測量の手段には伝統的な平板測量かトータルステーションとデータコレクターによる測量が用いられてきた。伝統的な平板測量はごく簡単な機器である平板とアリゲード、巻尺のみを用いて地形をスケッチしていくものである。しかし高い位置精度はもともと期待できないうえ、図化した素図は内業で改めてデジタル化し、CADで編集することになる。このとき再度

の精度劣化がおこるうえ、この作業量は無視できない負担である。

これに対し、トータルステーションでは地形測量(そのなかでも細部測量)を次のように行っている。測定対象に対して測定値と一緒に対象の属性の記述(点番号、点の間のつながり、対象の分類など)をデータコレクターにコードで保存して持ち帰り、内業でこのコードを用いて結線やデータの分類を行い図形化、シンボル化を行っている。属性の記述方法には工夫を凝らし、少ない手順で誤りを少なくするようコード化している^{11),12)}。

トータルステーションによればデータのAD変換の必要がなく、しかも高い計測精度が維持できる。しかしトータルステーションを地形測量に使うときには次のような欠点がある。

(1) 測定値を視覚的にモニターするディスプレイを持っていないため、複雑な地形、地物配置であると誤りを避けるのにスケッチが欠かせない。また内業で誤りを発見しても再測に時間がかかる。

(2) データ管理の方法が一貫していないため、データコレクターのデータから最終成果品までの間に多くの中間ファイルを作らねばならない。とくに空中写真のデジタルマッピングの補測として地上測量を実施するとき、写真測量の成果にトータルステーションのデータを直接接続することができないことが多い。

(3) 最近のデジタル地形図では、土木、建築用の管理システムのデータとしての需要が多い。しかし、従来の測量システムはこういうデータベースとの結合が十分でなかった。

新しいシステムはラップトップパソコンとトータルステーションを接続して、現地でCADを操作して計測から図化までを一貫して行うものである。このシステムを伝統的平板測量になぞらえてCG(Computer Graphics)平板測量システムと呼ぶことにする。将来は基準点測量

* 正会員 工博 福山大学助教授 工学部情報処理工学科
(〒729-02 福山市学園町三蔵)

** (株) パスコ

や土木測量を含め、地上測量のデジタルマッピングのほとんどがこのシステムの形を取るになると考えている。

CG 平板測量では対象点の座標をトータルステーションで計測し、現地で CAD に取り込む。すなわち CG 平板ではトータルステーションは独立した測量機ではなく CAD の 3 次元デジタルタイザとして働く。観測者は現地の地形、地物を観察しながら図化し、最終ないしそれに近い図面を現地で編集する。またこの CG 平板は空中写真測量から各種の地理情報システムまでをつなぐデジタルマッピングシステムの一環として一連の作業に共通の CAD をベースとして構築されている。このため上記の問題はほとんど解消され作業効率と測量精度が大きく向上した。

第 2 節で CG 平板測量システムの構成を示し、第 3 節で CG 平板での測量手順を従来の方法と比較して示す。第 4 節で事例に基づいて CG 平板測量の効率を従来の方法と比較する。第 5 節で CG 平板の重要な機能である後方交会法のプログラム構造を述べる。

なお CG 平板はむしろ土木建築での現場計測により威力を発揮するものであるが、その開発は現在進行中でありここで議論する機能は地形測量に限った。

2. CG 平板測量システムの構成

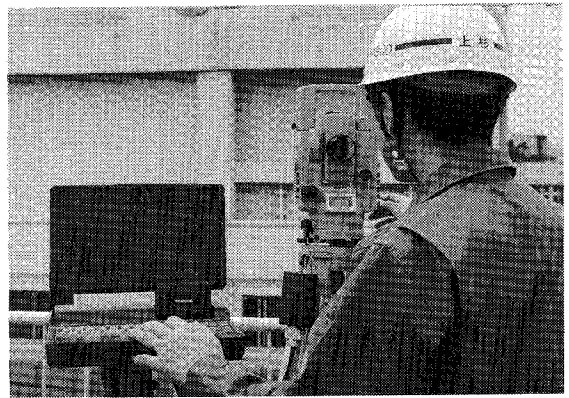
CG 平板の外観を Fig.1 に示した。トータルステーションには通常シリアルなインターフェイスが備わっているため、計算機との接続は容易である。現在のところ計算機はむき出しであるが、土木測量のために防水、防塵の点を将来考慮しなければならないと考えている。

トータルステーションの操作は機械の盤面で行うが、できるだけパソコン側で実行するのが操作の簡便さの点で望ましい。現在のところ測角、測距の初期化を盤面で行って、その後のデータ転送は計算機の指令で実行している。将来は視準以外のすべてをパソコン側で実施する予定である。以下に CG 平板のハードウェア、ソフトウェアの構成を示す。

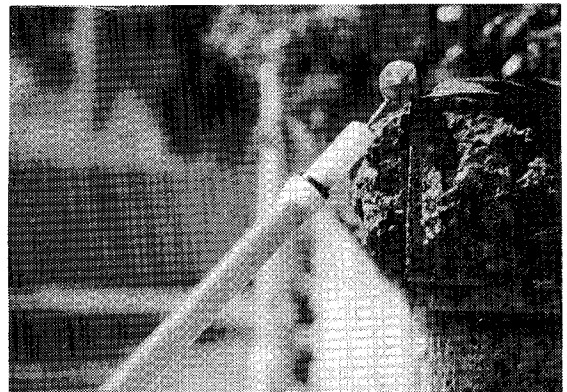
(1) ハードウェア

トータルステーションは、鉛直角精度が水平角精度と同じでない Z 方向の精度が確保できないため、鉛直軸補正ができるものを選んだ。CAD には、トータルステーションに対してユーザ側が自由にデバイスインターフェイスを開発できる Autodesk 社 AutoCAD GX-5 を選び、パソコンにはバッテリー駆動ができ、かつ AutoCAD を作動させるために 10 MB 以上の HD をもち、数値演算プロセッサのついた機種を選んだ。OS は MS-DOS である。Table 1 にトータルステーションの性能を示した。

また、新たに細部測量用反射ターゲットを作った。現



(a) PC and Total Station



(b) Reflective Target

Fig.1 CG-plane table surveying system

Table 1 Technical data on the electronic total station

測距	範囲 1800m (1 プリズム) 精度 $\pm (5\text{mm} + 5\text{ppm}) \text{ m. s. e.}$
測角	方式 インクリメンタル 精度 水平角 $5'' \text{ m. s. e.}$ 天頂角 $5'' \text{ m. s. e.}$ 鉛直角補正あり (静電容量検知方式)

在のトータルステーションにはプリズムか反射ターゲットが必要である。市販のプリズムは大型で細部測量には向いていないので、著者は、反射ターゲット、すなわち Fig.1(b) に示す様な 1 辺 15 mm の正三角形の面からなる正 20 面体 (内接円直径 23 mm) のプラスチックに反射用シートを貼ったターゲットを作成した。測距限界は約 50 m である。細部測量では計測値から反射ターゲットの厚みを除いた。

(2) ソフトウェア

ソフトウェアは大きく分けて次の 5 つからなる。

a) パソコンとトータルステーションをつなぐインターフェイスドライバ——パソコンからトータルステーションにデータ転送の指令を送り、トータルステーションが送りだしたデータをパソコン側のCADに読み込む¹³⁾。

b) 基準点測量の調整プログラム——基準点測量用に既存のトラバース調整計算プログラムをCADの一部として組み込んだ。

c) 地形図の図式を書き入れるプログラムおよびフォント——Auto CADは本来汎用CADであり測量用の図式(シンボル)がないので、新たにデジタルマッピング地図表現基準(案)に基づく1/500用図式を作成した^{14), 15)}。

d) 機械位置決定プログラム(後方交会法)——CG平板測量では細部測量での機械点位置を定めるのに2つの方法を使っている。一つは基準点測量で決定した基準点ないし図根点(増設基準点)上にトータルステーションを置く従来の方法である。しかし、図根点を二次、三次の基準点網で増設するのは面倒である。しかも近距離の測量では致心誤差が無視できない。そこでCG平板では第2の方法として任意の点に機械を設置し、計算による後方交会法¹⁶⁾で機械の位置と基準方向の方位角を決定する手続きを採用した。計算による後方交会法については3点の座標既知点を視準したときのいわゆる3点問題を解く方法がポケット計算機用に開発されている^{17), 18)}。しかしトータルステーションを使うと水平角だけでなく、鉛直角(天頂角)、斜距離を同時に観測できること、また視準点の座標精度が計測する手段によってまちまちであることから、われわれは視準点にも誤差を認める同時調整プログラムを開発した。構造を第5節に概説した。

e) 前方交会法プログラム——細部測量の大部分は放射法で行うが、対象点が高い位置であったり遠すぎる場合、反射ターゲットの設置が困難なため前方交会法を利用する。そのための調整プログラムを開発した。調整の基本原則は後方交会法と同じなので省略する。

3. CG平板測量システムでの作業方法

この節では現在われわれが行っている地形測量の方法を示し、従来の方法である伝統的な平板測量システム(ここでは平板と呼ぶ)、トータルステーション+データコレクタのシステム(トータルステーションと呼ぶ)と比較する。

Fig.2に空中写真測量を含む地形測量のデジタルマッピングのシステム全体の作業の流れを示した。CG平板はこの一部として組み込んだ。ここでは全体の作業を共通のCADの制御の中で進めるため、作業とデータが首尾一貫している。データは一元的に管理され無駄が

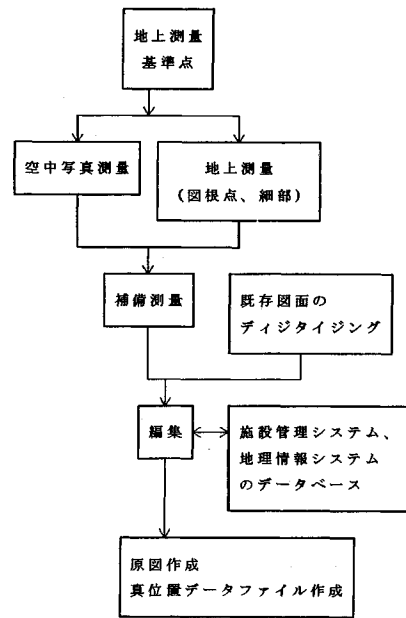


Fig.2 Flow of digital mapping works

ない。

地形測量の作業は基準点測量、図根点(増設基準点)測量、細部測量(補備測量を含む)、編集に分けられる。従来の方法ではトータルステーションと平板測量を併用することが多い。以下にCG平板の作業方法を示し従来の方法と機能を比較する。

(1) 基準点測量

CG平板では各点の座標データをデジタルに保存するから、基準点測量を最初に行っても良いし、あるいは細部測量のあとに行っても良い。基準点測量の成果はその場でチェックし、また調整計算もオンラインでその場で行う。観測成果、調整結果は画面にプロットして確認する。

従来の方法でもトータルステーションを使う限り方法に大差はない。しかし作業効率はデータコレクターの機能に大きく依存する。データコレクターの計算能力が小さければ、測量成果の併合誤差や正反観測差などの部分的なチェックのみを行い、調整計算は内業で行うのが普通である。最新のデータコレクターではパソコンに近い計算能力と小さなグラフィックディスプレイを備えているものがあり、調整計算を実行できる。

(2) 図根点測量

CG平板での図根点測量は2次トラバースを組むか計算による後方交会法を使うが、後者の方を主としている。

平板で図根点を求める方法は2次トラバースにせよ後方交会法にせよ図式解法であり、高い精度は得られない。

トータルステーションでは2次トラバースを組むのが中心であり、後方交会法に較べて能率が落ちる。ただし

3点問題を解く機能を持つデータコレクタを使えば、CG平板と同じことができる。しかし、水平角・鉛直角、斜距離の同時調整は複雑になりすぎ、データコレクターでは実行できない。標準の(角度だけ)の3点問題を解く機種で、CG平板と同程度の精度を得ようとすれば危険円から離れることや、必ず正反観測するなどの注意が必要であろう。しかしこの問題は視準精度、機械精度、観測法に基づく精度など複雑な要因が絡むので別に議論する必要がある。

(3) 細部測量

従来の平板測量法による細部測量はほとんどが2次元の放射法で、部分的には前方交会法を用いる。この方法では現地で成果品に近い図面を作成できるものの、内業でデジタル化とCADを使って図面のデジタル化を行う作業が必要になる。トータルステーション法では、測定の座標と属性をデータコレクターに格納して持ち帰るが、データコレクターが編集機能を持たないため柔軟な計測ができないことと、描画を行わないために測定の状況がモニターできないという問題がある。前方交会法による計測も可能であるが、内業で行うこととなり、非効率の上信頼性が落ちる。

これに対しCG平板ではほとんどが3次元の放射法で、一部が前方交会法である。放射法では対象点に反射ターゲットを立ててトータルステーションでその座標を計測する。座標は画面に表示されCADで線を描き図式に従って図面を編集する。このため現場でほとんど最終成果品に近い図面を作成できるため、疑問が残らず誤りが起こらない。前方交会法では各機械点ごとに視準点名と観測値のファイルをつくり、適当な時点でファイルをマージし、各未知視準点ごとにデータをソートした後、調整計算を実行してその結果をCADに取り込む。

またトラバース測量より先に細部測量を実施する場合は、機械位置を原点にして局所座標系で図化し、内業で編集する。機械点位置座標が高い精度で保存されるためこうしても精度は落ちない。必要であれば細部測量の成果を電話線で現地から本社の計算機に転送する。これらのことからデータ管理が容易になり、測量から図面出力までの時間が非常に短くなった。

CG平板ではデジタルマッピングシステムに共通のCADを使うため、空中写真測量の補測として地上測量を行うときには空中三角測量で得た資料を、全く同じ形式のファイルで引き継ぐことができる。必要なファイルは航測基準点・根拠点ファイル、図形ファイル、データベースファイルである。

CG平板は平板測量のデジタルデータ取得機能とトータルステーションの現地での描画機能のそれぞれの欠陥を補う形を取っている。

Table 2 Outline of Kasumigaseki projects

1971年度	1990年度
基準点測量 (トラバース測量、水準測量) トランシット、レベル	基準点測量 (トラバース測量、水準測量) トータルステーション・CG平板
空中写真測量 (撮影、空三、図化) アナログ図化機による 点描方式による図化	空中写真測量 (撮影、空三、図化) FNCカメラ、高解像フィルム使用 解析図化機によるデジタル図化
現地補測 平板	現地補測 CG平板
編集 手作業による編集原図作成	編集 CADデータ編集
成果品作成 手作業によるトレース原図作成	成果品作成 自動製図機によるスクラップ原図作成 データベースファイル作成

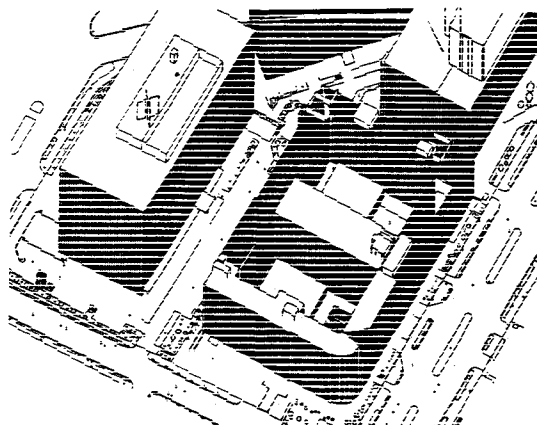


Fig.3 Perspective view of the survey area produced by the project in 1990

(4) 編集

従来の方法では、平板測量にしるトータルステーションにしる現地で取得した成果を図形データ化する作業が必要であった。これにはCADを用いたデジタル化作業を室内で行っている。従って室内作業の比重が高く、誤りを発見したときの再測も必要になっていた。これに対しCG平板では既に図形データまで現地の細部測量で終了しており、最終の点検のみを内業で行っている。

4. CG平板測量システムと従来の平板測量の能率比較

従来の平板やトータルステーションに対するCG平板測量システムの性能を比較する方法のひとつに測量精度や作業効率がある。CG平板の測量精度が従来の方法より高くなっているのは疑問の余地がないが、これを定

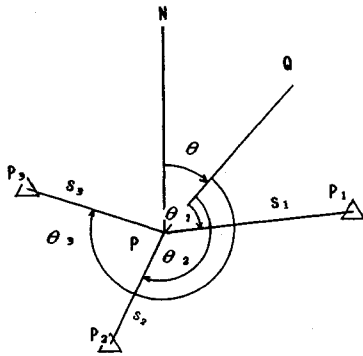


Fig.4 Computational resection method

量的に比較するのは難しいのでここでは作業効率のみの比較を行う。このため一つの典型的な測量計画をとり、計画から図面出力までの作業時間を見ることにする。

著者らは Table 2 に示すように東京都霞が関周辺の 30 000 m² の領域の図化を 2 回行った^{19), 20)}。1 回目は 1971 年であり、このときは縮尺 1:500 の通常の地形図を作成することを目的とした。最初空中写真測量を行い、その後平板測量で現地補測を行った。2 回目の測量は 1990 年であり、このときは同じく縮尺 1:500 で図化を行うと同時に建築物の床利用のデータベースを作成することを目的とした。2 回目のときは空中写真測量のデジタルマッピングを行い、ついで CG 平板で現地補測を行った。その後内業で地図原図とデータベースを作成した。Fig.3 は 1990 年の業務で、現地で描いた図化区域全体の透視図である。

CG 平板を用いて 1 日に実施した測量作業量は室内作業を含めて 10 000 m²/班日であった。細部測量の 1 班は 3, 4 人からなっている。これに対し従来の平板測量の作業量は 7 000 m²/班日である。しかしこれはデジタルデータの取得ではないため、もしこれを内業でデジタル化し、データベースの作成まで行うとすれば、これまでのデジタル化作業の経験上、7 000 m² の面積でもう 1 班日かかると推定されるのでトータルで 3 500 m² となり、CG 平板の作業効率は従来の平板の約 3 倍と考えてよい。

トータルステーションによる測量との比較は資料がないため難しいが、現地作業効率は CG 平板とトータルステーションによる測量にそれほど差がないと思われる。しかし図面の編集作業と、データベースを作成するための中間的な内業が増え、効率はおそらく CG 平板の半分程度ではないかと推定される。

5. 後方交会プログラムの構造

Fig.4 に示すようにトータルステーションを設置した未知の機械点座標を $P(X, Y, Z)$ とする。測角の基準

方向を PQ として、 PQ の真北からの方位角を θ とする。真北を X 軸とする測地座標系 XYZ をとり、水平角は時計回りを正とし、天頂角は天頂を 0° 、水平を 90° と定義する。 P から座標の分かっている基準点 $P_1(X_1, Y_1, Z_1)$, $P_2(X_2, Y_2, Z_2), \dots$ を視準し、 PQ からの方向角 $\theta_1, \theta_2, \dots$ 、天頂角 ϕ_1, ϕ_2, \dots 、斜距離 s_1, s_2, \dots を観測する。このときトータルステーションの機械点座標 XYZ と測角基準方向角 θ を求めるのが後方交会問題である。ただし実用上次の条件を満足する必要がある。

- 角度 $\theta_1, \theta_2, \dots, \phi_1, \phi_2, \dots$ は必ず観測するが、
- 斜距離 s_1, s_2, \dots は場所によっては観測できない。
- 視準点 P_1, P_2, \dots の座標にも誤差が含まれ、その重みは異なる。

これらの条件を満足する調整法としてわれわれは空中三角測量の調整計算に使われるいわゆるバンドル法（正しくは間接観測法というべきであるが、慣例でこう呼んでおく）を採用した²¹⁾。バンドル法では、求めるべき 4 つの未知量以外に値が与えられている視準点の座標も含めて未知量をパラメータと考える。バンドル法では、本来の観測式と未知パラメータを実際または仮想に直接観測したとする観測式とを加えて、全観測式の系を作り、正規方程式を導く。ここでの観測式は非線形になるから、これらを近似値のまわりに展開し、繰り返し最小 2 乗法で解く。解法の手順を具体的に (1), (2) に示す。(1) で 4 つのパラメータの近似値を求め、(2) で正規方程式を解く。

(1) 機械点座標 XYZ と基準方向角 θ の近似値を求める。

近似値の求め方は視準点の配置と測距の有無によって異なる。まず平面に関するパラメータ X, Y, θ の近似値を求め、ついで Z をこれらから 2 次的に求める。平面方向のパラメータの近似値を求めるための最低の観測条件を考えると、次のようになる。

- 角度 $\theta_i, \phi_i (i=1, 2, \dots)$ と斜距離 s_i の組を観測した視準数—— p_1
- 角度のみを観測した視準数—— p_2

とすると $2p_1 + p_2 - 3 \geq 0$ のとき解がある。近似値の計算は角度の観測数から以下の 3 つの観測条件に分けておくのが便利である。

- a) 角度と斜距離のペアを 2 組以上観測するとき
- b) 角度を 3 つ以上観測するとき
- c) 角度 2 つと斜距離 1 つを観測するとき

a) は c) に含まれるがパラメータの近似値の計算が容易であるので別に扱う。c) は特殊であり、望ましい観測形態ではないので説明はここでは省略する。以下に a), b) の解法を示す。便宜上斜距離は $S_i = s_i \sin \phi_i (i=1, 2, \dots)$ で水平距離に換算しておく。

- a) 2 組以上の角度と距離を観測するとき

視準点数を n として、 $V = \cos \theta$, $W = \sin \theta$, X, Y に関する次の観測方程式を立てることができる。

$$\left. \begin{aligned} X + S_1 \cos \theta_1 V - S_1 \sin \theta_1 W &= X_1 \\ Y + S_1 \sin \theta_1 V + S_1 \cos \theta_1 W &= Y_1 \\ \vdots \\ X + S_n \cos \theta_n V - S_n \sin \theta_n W &= X_n \\ Y + S_n \sin \theta_n V + S_n \cos \theta_n W &= Y_n \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

最小 2 乗法で 4 つの未知数 V, W, X, Y を求める。 θ は V, W の値から一意的に定まる。さらに機械標高 Z は次式で求める。

$$Z = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_i - \cot \phi_i \cdot S_i) \dots\dots\dots (2)$$

b) 角度 3 つ以上を観測するとき

危険円に乗らない 3 点の視準点を選び、ポテノーの解法²²⁾で水平距離 PP_1, PP_2, PP_3 を求める。この後は a) の解法に従い、機械点座標と測角基準方向角の近似値を求める。

(2) 正規方程式を解く。

座標調整法を基本にし、水平角、鉛直角、斜距離、未知パラメータの各々に対して観測方程式を立てる。観測方程式全体は次のようになる。

$$\begin{bmatrix} V \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_1 & B_2 \\ -I & 0 \\ 0 & -I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e \\ e_1 \\ e_2 \end{bmatrix}; \begin{matrix} W \\ W_1 \\ W_2 \end{matrix} \dots\dots\dots (3)$$

ここで B は観測式 (下記の式 (4), (5), (6)) を線形展開したときの係数行列、 I は単位行列、 V は観測誤差のベクトル、 e は残存量 (discrepancy) ベクトル、 X は未知パラメータベクトル、 W は各観測式の重み行列である。添え字 1 は機械点座標 X, Y, Z と測角基準方向角 θ 、添え字 2 は視準点の座標 X_i, Y_i, Z_i に関する諸量、添え字なしは水平方向角、天頂角、斜距離に関する諸量であることを意味する。特に、機械点座標と測角基準方向角を直接観測することはないから、 $W_1 = 0$ である。

なお水平方向角、鉛直角 (実際には天頂角)、斜距離に関する観測の条件式はそれぞれ次のようになる。

$$\theta + \theta_1 = \tan^{-1} \{ (Y_i - Y) / (X_i - X) \} \dots\dots\dots (4)$$

$$\phi_i = \pi / 2 - \tan^{-1} \{ (Z_i - Z) / \sqrt{(X_i - X)^2 + (Y_i - Y)^2} \} \dots\dots\dots (5)$$

$$s_i = \{ (X_i - X)^2 + (Y_i - Y)^2 + (Z_i - Z)^2 \}^{1/2} \dots\dots\dots (6) \quad (i=1, 2, \dots, n)$$

観測の精度は次のようにした。斜距離、水平角、鉛直角については Table 1 のトータルステーションの機械精度をそのまま使った。視準点座標については、基準点であれば 5 mm、航測図根点であれば 5 cm を使っているが、必要があれば後方交会の実行時に変更する。

式 (3) から $V^T W V + V_1^T W_1 V_1 + V_2^T W_2 V_2 \rightarrow \min$ とすると次の正規方程式の系を得る。

$$\begin{bmatrix} B_1^T W B_1 & B_1^T W B_2 \\ B_2^T W B_1 & B_2^T W B_2 + W_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_1^T W e \\ B_2^T W e - W_2 e_2 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (7)$$

繰り返し計算の後、解が収束すれば観測の重み 1 の分散 σ_0^2 、および未知パラメータの最確値の分散共分散行列 Σ は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} \sigma_0^2 &= (V^T W V + V_2^T W_2 V_2) / (m - 4) \\ &= (e^T W e + e_2^T W_2 e_2) / (m - 4) \\ \Sigma &= \sigma_0^2 \cdot \begin{bmatrix} B_1^T W B_1 & B_1^T W B_2 \\ B_2^T W B_1 & B_2^T W B_2 + W_2 \end{bmatrix}^{-1} \dots\dots\dots (8) \end{aligned}$$

$m = 3p_1 + 2p_2$ は角度、距離の観測数である。

6. 結 論

この論文は CAD とトータルステーションを結合した地上測量システムについて報告した。システムは現在のところ地形測量用に開発しており、従来の平板測量からの類推で CG (Computer Graphics) 平板測量システムと呼んでいる。CG 平板はラップトップパソコンで CAD を動かし、トータルステーションで観測した地形、地物の 3 次元座標をオンラインで CAD に取り込むようになっている。現場で地形図の描画と編集を行い、完成品、ないしそれに近い製品を作成できる。このため描画の誤りがおこらない。CG 平板測量システムは、当初、空中写真測量を含めたデジタルマッピングシステムの一環として設計した。このため他の測量データやデータ編集作業との整合性がよく、測量作業全体の効率を非常に高いものにすることができた。今後は土木、建築の施工管理システムとしてソフトウェアを構築していく予定である。

参 考 文 献

- 1) 浅井喜代治・坂井敬治・深見真一：造成工事における電算機の利用，土木施工，Vol. 32, No. 5, pp. 17~27, 1991.
- 2) 小出正則：防災用デジタルマップの開発，土木学会誌，Vol. 76, pp. 31~33, 1991.
- 3) 川口有一郎・中村英夫・柴崎亮介：土地区画整理設計支援システムの開発，土木学会論文報告集，No. 425/IV-14, pp. 193~202, 1991. 1.
- 4) 岩城富士夫・正木保行，ユーノス・コスモの GPS ナビゲーションシステム，PIXEL, NO. 96, pp. 85~89, 1999. 9.
- 5) Hasegawa, H., Rogers, J. and Forret, A. : MapCAD—An AutoCAD Based, ARC/INFO Oriented and Combined Digital Mapping System, PE & RS, Vol. 28, No. 4, pp. 39~48, 1991.
- 6) Kennie, T.J.M. : Digital Mapping Technology ; Procedures and Applications, in Engineering Surveying Technology, ed. by T.J.M. Kennie and G. Petric, Blackie, pp. 329

- ~390, 1990.
- 7) Hattori, S., Hasegawa, H. and Uesugi, K. : A CAD-Based PLANE TABLE SURVEYING SYSTEM, Extended Abstracts of the -ICCCBE '91 Conference, Tokyo, p.230, 1991.
 - 8) Hattori, S., Hasegawa, H. and Uesugi, K. : A New Plane Table System—CG Plane, ACSM/ASPRS/AUTOCARTO-10/, Baltimore, pp.122~129, 1991.
 - 9) 服部 進・長谷川博幸・上杉光平：新しい平板測量システム—CG 平板, 土木学会全国大会論文集, IV, pp.6~7, 1990.
 - 10) 長谷川博幸・上杉光平：コンピュータグラフィクス(CG) 平板測量, (日本測量調査技術 (APA), No.47~5, pp.30~35, 1990.
 - 11) Froelich, H. and Wolfgang Jez : HALT-Praxis-orientierte PC-Software zur Auswertung terrestrischer Lagevermessungen, Zeitschrift fuer Vermessungswesen, Heft 2., pp.72~79, 1987.
 - 12) Turner, H. : A Model to Integrate Data Collectors, Surveying and Mapping, Vol.47, No.2, pp.117~123, 1987.
 - 13) Autodesk, INC. : Autodesk Device Interface, Ver.4.0, 1988.
 - 14) 日本測量協会：建設省公共測量作業規定, pp.269~299, 1987.
 - 15) 建設省国土地理院：デジタルマッピング地図表現基準(案), 建設省国土地理院技術資料 C1-No.154, 1988.
 - 16) 森 忠次：測量学 I 基礎編, 丸善, pp.252~253, 1979.
 - 17) Elhassan, I.M. : An Analytical Solution of the Resection Problem, Journal of Surveying Engineering, ASCE, Surveying & Mapping Division, Vol.112, No.1 pp.30~35, 1986.
 - 18) Maier, U. : Ein Taschenrechnerprogramm zur Punkteinschaltung und freien Stationierung, Allgemeine Vermessungs Nachrichten, Heft 4, pp.158~167, 1982.
 - 19) 建設大臣官房官庁営繕部：1：500 霞が関一団地官公庁施設現況図 (26 面), 1968 年.
 - 20) (財) 建設保全センター：官庁建物データベース整備計画調査業務報告書, 1990 年 3 月.
 - 21) Brown, D.C. : Adaptaion of the Bundle Method for Triangulation Observations Made by Digital Theodolites, Conference of Southern African Surveyors, Paper No.43, 1985.
 - 22) 森 忠次：測量学 I 基礎編, 丸善, pp.214~215, 1979. (1991.6.26 受付)

DEVELOPMENT OF A CAD-BASED PLANE TABLE SURVEYING SYSTEM

Susumu HATTORI, Hiroyuki HASEGAWA and Kohei UESUGI

A CAD-Based plane table surveying system is newly developed for topographic surveying. This system consists of a total station linked to a lap-top computer and the CAD software with survey programs. With the system surveyors edite figures and compile maps up to near finishes, while observing objects.

The system features :

- 1) high reliability of produced maps, because drawing figures and lines are monitored on a display at survey sites.
- 2) efficient survey works, because the system is provided with a resection program for free stationing and an intersection program for object point determination.
- 3) flexible data management because the system is integrated in a total digital mapping system controlled by a common CAD.