

15. 建築工事用 CAD/GPS 位置出しシステム

三井建設㈱：*大津 慎一，佐田 達典
高田 知典

1. はじめに

筆者らは 1993 年にリアルタイムキネマティック測位 (RTK) を用いた「GPS 誘導型測量システム」を開発し¹⁾、主に陸上の工事測量に適用してきた。本システムには大きく分けて地形計測機能と位置出し機能とがあり、当初は主に地形計測機能を用いて、メッシュ土量計測、縦横断測量、平板測量などに適用し、在来法の 3～5 倍の高速化を実証してきた。工種としては宅地造成や道路工事、ダム建設などいわゆる土工事である。一方、位置出し機能については、在来法の 3 倍程度の速度で作業できるものの、計測精度が 2cm 程度であることから高精度を要求される本設のコンクリート構造物や鋼構造物の位置出しには適用できず、土工事での位置出しや仮設構造物に使用するに留まっていた。

建築工事に関して言えば構造物の墨出しには精度不足であり、また、衛星観測状況からも都市部では適用しにくいということから、GPS は建築工事では利用しにくいという評価がなされてきた。こうした一般的な評価に対して、筆者らは建築工事でも郊外の比較的敷地面積が大きく衛星観測条件が良好な物件を対象とすれば、数 cm の誤差が許容される基礎杭や山留杭などの位置出しに適用できるのではないかと考えた。そして、そのためにシステムの整備・拡張を行ない、現在までに十数件の建築工事で適用してきた。システム整備の最大の特徴は、建築工事用に CAD との連動を考慮した機能拡張を行なったことである。手書きの図面がまだ多い土木工事と違い、建築工事では設計図、施工図等がほとんど CAD で作成されていることから、CAD データから直接、基礎杭座標を抽出する方法を導入した。それによって座標拾い時間の短縮を図るとともに、手作業による場合に比べて信頼性を格段に向上させることができた。

本稿では、システムの内容を紹介するとともに、位置出し精度、速度などに関する評価実験結果を報告し、システムの効果と課題についてまとめる。

2. システムの構成

2.1 GPS 誘導型測量システム

リアルタイムキネマティック (RTK) 機能を用いて携帯パソコン上で自分の現在位置と目標ポイントやメッシュ図を表示しながら測量できるシステムである。RTK は図-1 に示すように既知点に設置した GPS 受信機 (基準局) と計測側の GPS 受信機 (移動局) を特定小電力無線で結び、基準局での衛星受信データをリアルタイムに移動局に送り、移動局側で基準局から移動局までの基線を即時に (通常は 1 秒間隔) 計算する。誘導型測量システムは、移動局受信機から出力される測位データを携帯型パソコンに取り込み、パソコン画面の地図上に位置を表示するシ

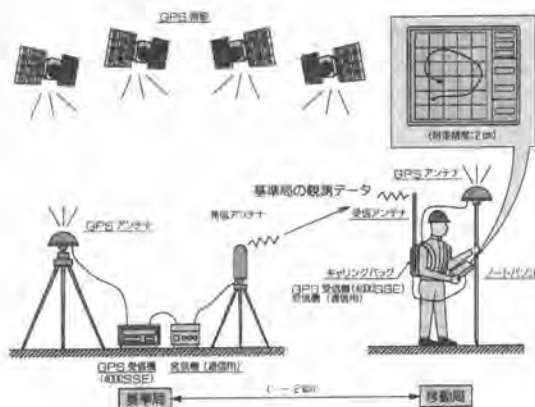


図-1 GPS誘導型測量システム

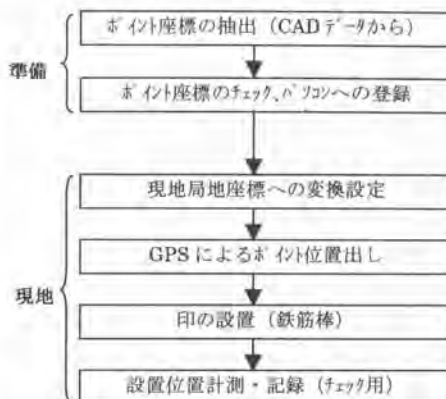


図-2 全体の作業手順

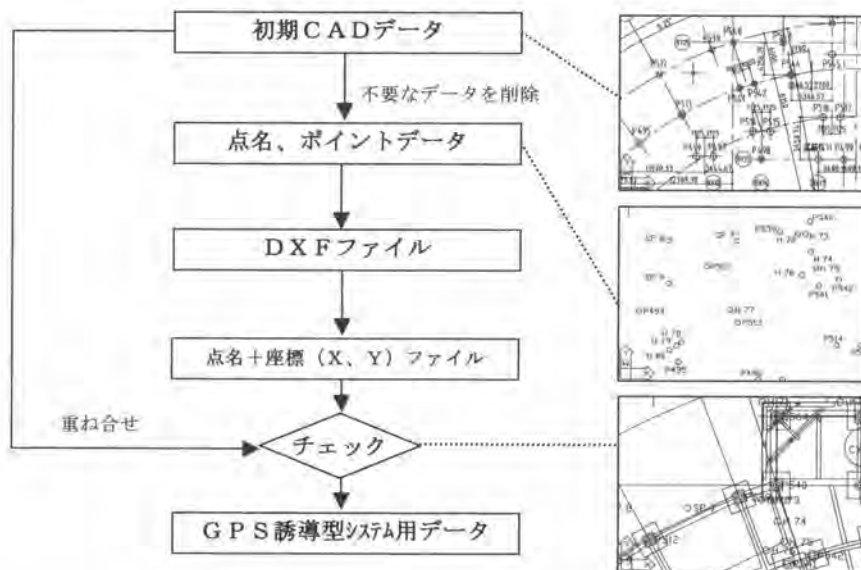


図-3 CADデータからのポイント座標抽出手順

システムである。測位データは通常1秒間隔で緯度、経度、高さの三次元座標でGPS受信機から出力されるため、携帯パソコンで平面直角座標(X、Y、標高)に変換して用いる。

2.2 全体作業の流れ

位置出し作業は図-2に示す手順に沿って実施される。まず、準備段階では杭芯等が含まれているCADデータから位置出しポイント座標を抽出し、チェック後、ファイルとして携帯パソコンに登録する。次に現地作業では、最初に現地の局地座標への座標変換設定を行い、パソコンに登録したポイント座標と同じ座標系で測位データが表示されるように設定する。そして、本作業に入り、画面による誘導機能を用いて位置出しを行い、鉄筋棒等を用いて印を設置する。最後に設置位置を再度計測してチェックを行う。



写真－1 誘導画面例



写真－2 位置出し作業状況

2. 3 準備作業 (CADデータ処理)

位置出しを行うポイント座標を取り出す手段としては、従来、図面の寸法をもとにX座標、Y座標を手計算で求める方法が一般的であったが、本システムでは大量のポイント座標を短時間に確実に取り出すため、CADデータから直接抽出する方法をとっている。

まず、杭芯等が含まれているCAD図面データから不要な部分を削除し、位置出しをする点名称とポイントだけのデータとする。これをDXF形式で出力して点名称と座標の照合を行う。この時、マクロを利用して座標データの抽出を半自動化している。この処理により点名称と座標のファイルがDXF形式で作成される。これを最初のCAD図面に重ね合わせてチェックを行い、確認の上、誘導型測量システムのファイル形式に変換して携帯パソコンに登録する。図-3は、CADデータからのポイント座標抽出手順を示している。

2. 4 現地作業 (GPSによる位置出し)

(1) 現地での座標系への変換

現地ではまず、GPSで計測したデータを現地の局地座標に変換するために変換パラメータを求める。建築工事では国家座標ではなく、局地座標を使用することが多いため、この作業を最初に行うこととなる。

作業としては、施工区域の外周に4点以上の基準点を設置し、CAD図面と同じ座標系で座標を与える。そして、これらの点をGPS誘導型測量システムで計測し国家座標を求める。この内、2点を使って国家座標から局地座標へ変換するパラメータを求め、他の点はその変換を使って正しく変換できているか確認に用いる。

なお、現地に国家座標の基準点が無い場合は、適当な点に基準局を設置し、単独測位で計測した緯度、経度から平面直角座標に変換した値を仮の国家座標として用いる。この座標自体は数十mの誤差を持つが、基準局から移動局への相対座標は影響をほとんど受けないので、十分な精度で局地座標に変換することができる。

(2) 画面誘導による位置出しと印の設置

携帯パソコンに登録した目標ポイント座標ファイルから順次目標点を選択し、画面誘導機能を用いて位置出しを行う(写真-1)。パソコンのメッシュ画面には、目標点の位置が○印で表示

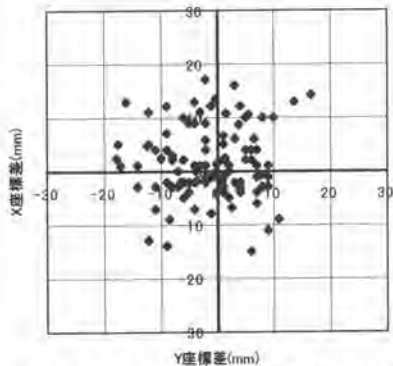


図-4 トータルステーションによる検証結果
(設計値と計測値の差)

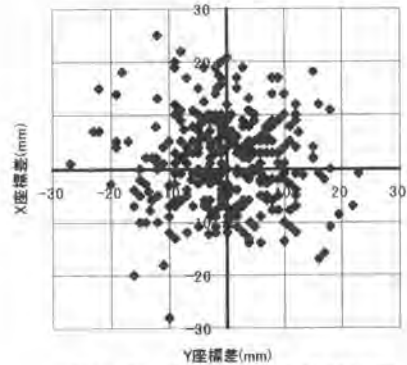


図-5 再計測による検証結果
(設計値と計測値の差)

表-1 トータルステーションによる検証結果(100点)

項目	X座標差 (mm)	Y座標差 (mm)
平均値	-1.4	1.7
標準偏差	7.2	6.6
最大値	17	17
最小値	-18	-15

表-2 再計測による検証結果(300点)

項目	X座標差 (mm)	Y座標差 (mm)
平均値	1.0	-0.6
標準偏差	8.6	8.7
最大値	25	23
最小値	-28	-27

され、現在位置は+印で1秒毎に更新・表示される。したがって最初、パソコン画面を見ながら目標ポイントに近づき、微調整はX方向、Y方向の残差表示を確認しながらGPSアンテナを動かして行く(写真-2)。残差が1cm以下になったところで鉄筋棒などの印を設置する。

(3) 設置点の確認

印の設置後、その印を再測し位置をパソコンに記録する。これは、チェックに用いる他、標高も同時に記録しているので地盤高のデータとなり、掘削の場合などの土量計算に利用することもできる。さらに、全点位置出しが終了したところでもう一度、周辺の基準点と位置出した全点を当たってチェックを行う。チェックは短時間で終わるのでなるべく全点を当てるのが望ましい。また、トータルステーション等の測量機を用いてランダムに数十点計測して系統的な誤差等が発生していないか確認する。

3. システムの評価実験

3.1 位置出し精度

(1) 時系列的変動

RTKでは測位結果が時系列的に変動することから、平面誤差として最大で±20mmの変動があることを考慮する必要がある。特に、衛星からの電波が障害物に反射して直接波と干渉するマルチパスは移動しながら計測する本システムでは避けられない変動要因である。

表-3 作業日毎の位置出し速度

作業日	作業時間	設置点数	設置速度 (点/時間)
第1日	6時間 35分	202点	30.7
第2日	6時間 20分	205点	32.4
第3日	6時間 40分	225点	33.7
第4日	5時間 30分	188点	34.2
計	25時間 5分	820点	32.7

(2) トータルステーションとの比較

本システムで位置出した点をトータルステーションで計測し、そのバラツキを検証した。図-4は100点計測した結果を示している。なお、この検証実験ではX座標、Y座標は国家座標である。表-1にX方向、Y方向の座標差について平均値、標準偏差、最大値、最小値を示す。標準偏差はX方向、Y方向とも約7mm、差の最大値、最小値は20mm以内に収まっており、ほぼX、Y両方向とも2cm以内の精度で設置できているといえる。

(3) 杭設置後の再計測

次に、本システムを用いて300点の位置出しを行ない、印を設置した後、再計測を実施し設計値との比較を行なった(図-5)。表-2に測定結果を示す。トータルステーションによる検証に比べて差のバラツキが大きくなっており、標準偏差は両方向とも9mm、差の最大値もX方向28mm、Y方向27mmとなった。これはトータルステーションよりも精度が粗い本システムを用いて検測したためである。この結果から本システムで再計測すればX、Y各方向成分について±30mmの範囲で設置点を点検できる。点検は各点で瞬時に実施できるから、この程度の精度で良いとすれば極めて機動力が高く簡便な点検方法となる。

3.2 作業速度

(1) CADデータ処理

CADデータからポイント座標を抽出し、最終的に元図面データと重ね合わせて確認をするまでの作業は1日当たり概ね200点である。

(2) 位置出し速度

820点の位置出しを4日間で実施した事例から位置出し速度を算定した結果を表-3に示す。作業時間は位置出し作業のみの時間であり、機器の設置など準備時間や休憩時間は含んでいない。また、鉄筋棒の設置を2組の作業班で交互に行なったため、位置出しには作業待ちの状態は発生していない。表-3から設置速度は平均で32.7点/時間となった。

4. システムの効果

3章での検討結果により、本システムの特徴及び効果をまとめると次のようになる。

①CADとの連動による準備作業の省力化

CADデータから位置出しポイントの座標データを抽出する工程を省力化したことから、位置出し作業の準備工程を大幅に短縮できた。1日当たり約200点の座標抽出・チェックが可能である。

②短時間に多点の位置出しが可能

パソコン画面の誘導により順次ポイントを高速で設置し、鉄筋棒で印をする場合、1時間に約30点、1日に約200点の設置が可能である。

③複雑な点配置でも高速に設置

座標をもとに位置出しするため、設置速度は点配置に関係なく同じ速度で実行できる。従来測量では、円や複雑な線形での配置の場合、直線上の配置の場合に比較し速度が大幅に低下するが、本システムでは配置に関係なく高速で設置可能である。したがって、点数が多くかつ複雑なほど適用の効果が大きい。

④高い信頼性

精度的には検証の結果、X、Y各方向について標準偏差で7mm、最大較差が±20mmとなり、基礎杭や山留杭の位置出しには十分な精度となった。

一方、従来の方法では測量機からの距離と角度で位置出ししていたため、人為的な過誤は避けられなかったが、本システムでは座標で誘導するためその種の誤りはほとんど発生しない。また、設置点の確認は全点を本システムで再計測することで短時間に確実に実施できる。

さらに、座標抽出に際しては点名称と座標を抽出し、整理後に元のCAD図面に重ね合わせてチェックするため、座標の入力ミスを防ぐことができる。CADと直接連動することによる大きな効果である。

5. 結論

本システムはこれまでに集合住宅や商業施設など十数件の建築工事で適用した。特に、配置が複雑な基礎杭の芯出しを実施した例が多く、通常の方法では10日を要するところを3日で完了した例もある。したがって、本システムはある程度の規模があり位置出し点数の多い工事、中でも点配置が複雑な工事には効果が大きい。着工から本工事開始までの杭芯出し等の準備期間を大幅に短縮できるという意味で生産性の向上に少なからず寄与することができる。

今後の課題としては、さらなる操作性の改善がある。位置出しは着工直後だけでなく、工事の各段階で必要とされる。現在は、専門のスタッフでなければ運用が難しいため、工事中に職員が適宜使えるという状態にはなっていない。今後、機器の軽量化と操作の簡便化を図り、現場の技術者でも扱えるように改良を行う予定である。また、CADとの連動についてもさらに自動化を図り、迅速で確実な手法を確立したいと考えている。

参考文献

- 1) 佐田達典、高田知典：GPS誘導型測量システム、応用測量論文集、(社)日本測量協会、1994.6、Vol.5