

**投稿論文** (和文ノート)  
**TECHNICAL  
NOTE**

# GPSによる位置出し測量システムの開発

菊田勝之\*・和久昭正\*\*・櫻井春輔\*\*\*・  
川嶋幾夫\*\*\*\*

最近、急速に発達してきたGPSは、高精度で3次元座標を求めることができるシステムで、これまでGPSを適用することによって多くの測量の作業の省力化が図られてきた。ところで、工事現場で行われる測量は、そのほとんどが位置出し測量である。このような測量においては測量結果がリアルタイムに求めなければならない。そこで、本研究では、GPSのキネマティック測量によってオンラインでデータ処理をし、ほぼリアルタイムで測定結果を求める方法を開発した。さらに、この方法を基にGPSによる位置出し測量システムを開発した。

*Key Words*: realtime kinematic survey, surveying of marking point, GPS

## 1. はじめに

近年、建設工事においてもオートメーション化が進み、省力化が図られてきた。しかしながら、基準点を設定したり、施工の進展や構造物の挙動を測定する測量の作業は、専門的な技術を要し、また、同じ条件での反復作業が少ないため、他の分野に比べて省力化はあまり進んでいないように思える。

一方、最近急速に普及してきたGPS (Global Positioning System) は、人工衛星から送られる電波を利用し、観測点の3次元座標を高精度で求めることができるシステムである。GPSの相対測位法のうち干渉測位法は、①基線長を0.1~1.0 ppmの精度で求めることができる。②観測点間の視通を必要としない。③一人でも作業が可能。④定点での自動変動計測が可能という特長を有する<sup>1)</sup>。そのため、この方法によって測量作業の省力化が可能になると考えられる。

GPSは、わが国では、まず長基線(数10~数100 km)の変位の観測手段として<sup>2)</sup>、後に土木の分野において、基準点測量<sup>3)~8)</sup>、出来高測量<sup>9)~12)</sup>、変位計測<sup>13)</sup>

および地すべり監視<sup>14)</sup>などに適用され、高精度化とともに省力化が図られてきた。著者らも、これまでにGPSを多くの問題に適用してきた<sup>12), 15)~19)</sup>。

しかしながら、測量で用いられるGPSではオフラインの処理で結果が求められるため、工事測量のうちで作業量、頻度ともに多い位置出し測量にはその適用が見送られてきた。

そこで、本研究では、オンライン処理のための技術を開発し、それを基にGPSによる位置出し測量システムを完成させた。このシステムは専門的技術を持たない者でも一人で容易に作業を行うことができる利点がある。

## 2. キネマティック測量の概要

GPS測量の干渉測位法は、複数台の受信機を用いて行う。ここでは、2台の受信機を用いて行う場合とし、それぞれの受信機のアンテナを別の測点に据え、同時に同じ人工衛星からの電波を受信する。このとき、搬送波の位相(ここでは、1波長に満たない部分に併せて、波長の整数倍の部分についても考える)の差から、それぞれの測点と各々の人工衛星との距離の差を求める。このとき、波長の整数倍の部分を整数値バイアスと言い、この整数値バイアスは次のいずれかの方法によって求める。1つは長時間の観測データを用いる方法であり、もう1つは測定前に整数値バイアスを求めておく方法である(ただし、処理計算がオフラインで行われるため、整数値バイアスは実際には観測終了後の処理計算の段階で求められる)。

キネマティック測量は後者の方法によるが、具体的には図-1に示す2つの方法のうちのいずれかによって行われる。このうち、1つはアンテナスワップによる方法で、もう1つは、測定に先立ち、既知間の基線に対して観測を行う方法である。このようにして求められた整数値バイアスは位相の積算が継続している間は保管されるので、測定は、電波が遮断されない状態にして行われる。

## 3. システムの開発

GPSによる位置出し測量システムの開発にあたっては、その作業の性格上、短時間の処理が要求される。そ

\* 正会員 工修 (株)フジタ技術研究所  
(〒223 横浜市港北区大圃町74)

\*\* 正会員 (株)フジタ技術研究所

\*\*\* 正会員 工博 Ph.D. 神戸大学工学部教授

\*\*\*\* 学生会員 工修 神戸大学大学院生  
自然科学研究科(博士課程)

のため、キネマティック測量を基にして、1つの受信機を既知点に固定し、もう1つの受信機を移動させて、移動局で、各測点ごとに結果を得て、それを基に求点する構成にした(このシステムの構成を図-2に示す)。このシステムにおいて、固定局側の受信機で観測したデータを移動局側のパーソナルコンピュータに転送する方法を開発した。このとき、転送時間が他の処理の時間に比べて長いことから、これを短くするよう、転送前にデータの選択を行うようにした。さらに、その上でGPS解析・平面直角座標系への変換・目標点への誘導が移動局側で行えるようシステムを整備した。

また、一人作業を可能とするため、受信機・無線モデム(総重量5kg)は背負式のバックに入れ移動が容易とし、受信機・無線モデムの電源は共通のバッテリーから分電させて軽量化をはかっている。

(1) データの転送

データの転送は無線によるが、低ノイズの転送方法が望まれる。ここでは、特定小電力型無線機を用いたが、広い範囲における測量の場合は高出力の無線機を用いることになる。今回用いた無線機は、特定小電力型無線機(4800 bps, RS—232c 設定, 公称距離 300 m)であり、10 t 級ダンプ・0.7 m<sup>3</sup> 級パワーショベルが稼働する造成現場において 200 m までの距離ではデータ再送のための中断がほとんどなく転送できることを確認した。

また、データ転送を確実にを行うために、常に電波の状態をパーソナルコンピュータで確認し、一時的電波中断時にはデータ再送を行い対処している。

(2) データのダウンロードおよび選択

これまで、GPSはキネマティック測量も含めて、オフラインで行ってきたため、すべての測点における観測が終了した後に、受信機内に記憶したデータをパーソナルコンピュータにダウンロードして、その後処理計算を行ってきた。ところが、位置出し測量では、次の測点に移動する前に現在の測点の位置を求めなければならないため、その測点における測定が終了した時点で受信データをダウンロードして、即時に固定局側のデータを移動局側のパーソナルコンピュータに転送して移動局側のデータと併せて解析処理をしなければならない。

そのため、まず、それぞれの測点における観測が終了した後に、受信機内に記憶されているデータをダウンロードするための方法を開発した。この方法は、パーソナルコンピュータから受信機にコマンドを送り強制的にダウンロードするものである。

ここで、ダウンロードされたデータは、図-3に示すように、観測されたすべてのデータが含まれている。このとき、受信されたデータの一部を表-1に示す。ダウンロードされたデータのうちで必要になるのは、測点Nにおいては、当初に観測した既知点におけるデータと、

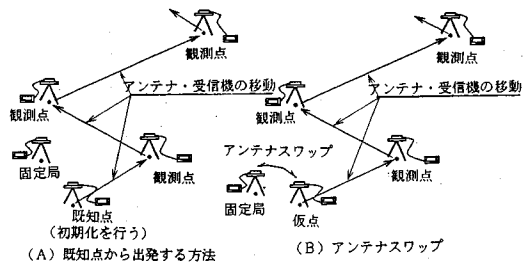


図-1 キネマティック測量の方法

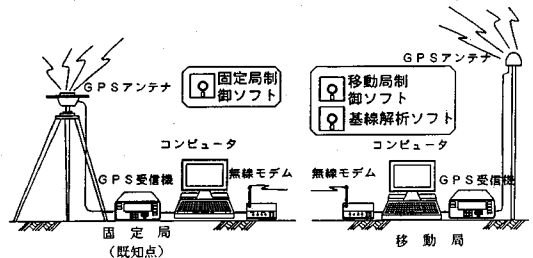


図-2 システム構成

表-1 ダウンロードされるデータの一部

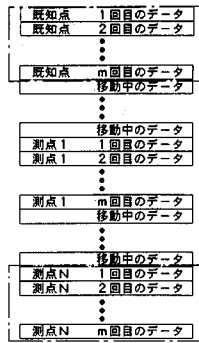


図-3 測点Nにおける観測後にダウンロードされるデータ

<pre> RECORD TYPE=17 GPS OBSERVABLES Receive time=3.403860000E+008 Clock offset=5.76515197753-002 # of SVs in this record=6  SV PRN #=17 L2 data not included L1 cycle-slip flag=0 L2 cycle-slip flag=0 L1 lock point flag=1 Valid L2 P-code .....                 </pre>
---

受信時刻を示す部分  
 データの内容  
 ・受信時刻 (GPS時刻)  
 ・搬送波のカウント値  
 ・その他

直前に測定した測点Nにおいて観測したデータ(図-3中の一点鎖線で囲まれた部分)である。このとき、前者のデータは既に転送され移動局側のコンピュータに保存されているので、後者のデータの転送が必要となる。そこで、図-4に示すように受信機とパーソナルコンピュータの時刻を測量に際して事前に同期させておき、任意の点における観測開始時刻(日本時刻)から受信開始時刻(GPS時刻)を計算し、全データからの選択を行った。なお、データのダウンロード及びデータの選択は固定局側、移動局側共通である。

(3) 位置出し測量のためのシステム整備

ここで開発した位置出し測量のためのシステムは、図-4に示すフローチャートのような手順で、移動局側の

みて操作できるように開発した。図中の太矢印は制御信号の送信を示している。

このとき、測定結果は、移動局の予め設定した目標点への移動が容易になるよう、解析処理で求められた測量結果を現場で設定している座標系に変換した上で、表示するようにした(図-5参照)。この図では、既知点から目標点Aに移動する際の、3回目の測定について示している。このシステムでは、専門の技術者でなくとも容易に作業ができる。

#### 4. システムの検証

ここでは、本システムにおける測定時間(測点に到着し観測を開始してから、パソコンの画面に結果が表示されるまでの時間)について調べ、作業のリアルタイム性について検証した。このとき、固定点と移動点間の距離は約100mで互いに見通しの効くところで行った。また、受信データの取得間隔は5秒で取得個数は4個とした。

図-6に測定時間を測量開始からの経過時間との関係を示す。図中の実線は、最小二乗法によって求めたものである。これにより、測量開始からの経過時間を $t$ とすると、観測時間は15.0秒、ダウンロード時間は $14.0 + 0.8t$ 秒、転送時間は24.0秒(データの選択を行わない場合は、 $t=60$ で10分程度である)、処理計算時間は24.0秒、全体の時間は、 $77.0 + 0.8t$ 秒となった。ここで、経過時間により所要時間が大きくなる原因はダウンロード時間にあり、ダウンロードは受信機内に記憶されている全データを対象とし経過時間とともにそのデータ量が多くなるためである。このように、測量開始から60分以内であれば、測定開始から2分以内に結果を求めることができることがわかる。

#### 5. 適用

ここで開発した位置出し測量システムを適用し、実用性について検討した。

ここでは、図-7に示す地域において、既知点である初期化点から目標点Aに、その後目標点Aから目標点Bに、さらに目標点Cを求点した。このとき、それぞれの点の間隔は約25mとした。

この程度(約25m)では、経験的に、トータルステーションを用いて、3~4分(整準および求心を含む)で2cm以内の精度で求点できることがわかっている。

本システムを用いて測量した場合の目標点までの残り距離と経過時間(前の測点における求点が終了した時間を起算)との関係を、既知点から測点A、測点Aから測点B、測点Bから測点Cについてそれぞれ図-8に示す。

求点は、次のようにして行った。目標点から5cm以

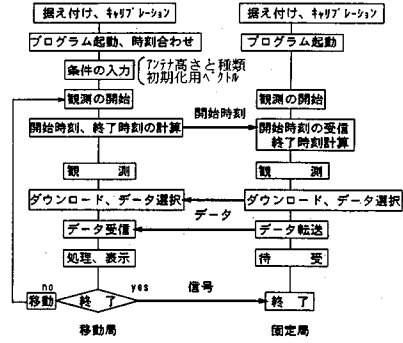


図-4 制御フローチャート

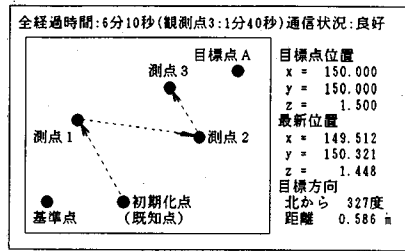


図-5 表示画面

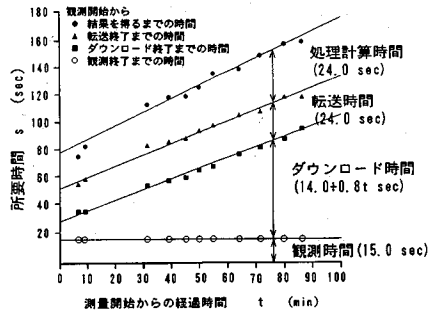


図-6 測定時間

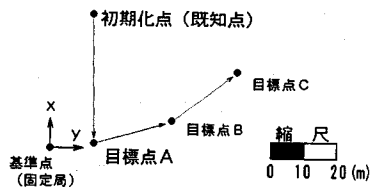


図-7 既知点および目標点の位置

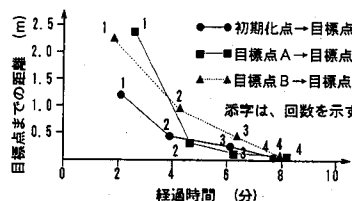


図-8 目標点までの距離と経過時間の関係

内に杭を打ちその上に10×10 cmの平板を取り付ける。そして、平板上に2点の位置を出しその値をもとにして目標点との距離および方位から正確な目標点を巻尺で求めた。この時の精度は、目標点から2 cm以内であった。この図に示すように、1点当たりの求点に要する時間は8分程度であった。

本システムによる作業は、GPSの受信条件が良好でありさらに電波の到達範囲内において、一人で行うことができ、最低2人以上必要とするトータルステーションによる測量に比べても2倍程度の作業時間でできることから、省力化に有用であると考えられる。また、測点間の見通しがきかない場合は、据えかえが必要なトータルステーションによる方法に比べて、本システムは特に有効となる。

## 6. まとめ

ここでは、GPSの位置出し測量への適用を考え、そこで問題になるデータ転送、データの選択の方法を開発し、システムを完成させた。

このシステムでは、作業は専門的技術を必要とせず、かつ、1人で行うことができ、本システムの適用によって省力化を図ることが確認できた。

また、GPSの価格については年々廉価しつつあり、将来トータルステーションの価格に近づくことと予想され、GPSの普及に拍車をかけるであろう。

今後は、本システムに関して、測定時間の短縮および軽量化をはかっていきたい。

## 参考文献

- 1) 日本測地学会編著：新訂版 GPS—人工衛星による精密測位システム—、日本測量協会、1989年。
- 2) 加藤照之：GPS高精度測位の研究の現状、GPS測量の現況 講習会テキスト、日本測量協会、pp. 65～74、1991年。
- 3) 村石公典・片野悟：船舶位置決定の為に電波局位置測量、GPS測量の現況 講習会テキスト、日本測量協会、pp. 23～31、1991年。
- 4) 古堅和男・長谷川浩司：GPSと測量作業、GPS測量の現況 講習会テキスト、日本測量協会、pp. 33～42、1991

- 5) 豊田耕三・小林敬幸：GPS測量の実施状況、GPS測量の現況 講習会テキスト、日本測量協会、pp. 43～52、1991年。
- 6) 杉田要：国土地理院におけるGPS測量、GPS測量の現況 講習会テキスト、日本測量協会、pp. 75～86、1991年。
- 7) 宮林秀次・岡本幸雄・遠藤英雄：山梨リニア実験線におけるGPS測量、土木施工、pp. 17～26、1992年。
- 8) 櫻井春輔・清水則一・古谷茂也・皿海章雄：GPSによる大型放射光施設(Spring-8)の基準点測量、土木学会第47回年次学術講演会、1992年。
- 9) 藤岡晃・和久昭正・櫻井春輔・岡野幹雄・清水則一：キネマティックGPS測量の精度について、土木学会第46回年次学術講演会概要集(第VI部門)、1991年。
- 10) 佐田達典・中川良文・高田知典：GPSの出来高測量への適用、土木学会第46回年次学術講演会概要集(第VI部門)、1991年。
- 11) 神崎正・西沢修一：人工衛星GPSによる土工総合管理システム、土木学会誌1991年9月号、pp. 12～14、1991年。
- 12) 藤岡晃ほか：山間部におけるGPSキネマティック測量の適用、土木学会第48回年次学術講演会概要集(第VI部門)、1993年。
- 13) 清水則一・櫻井春輔・皿海章雄・古谷茂也：GPS(人工衛星測量システム)による長大斜面の変位モニタリング、第24回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、pp. 440～444、1992年。
- 14) 丸山清輝：GPS測量による地すべり移動観測、土木技術資料、34—8、pp. 10～11、1992年。
- 15) 藤岡晃ほか：キネマティック測量の精度について、土木学会第46回年次学術講演会概要集(第IV部門)、1991年。
- 16) 菊田勝之ほか：GPS測量における解析結果の改善方法、土木学会第47回年次学術講演会概要集(第VI部門)、1992年。
- 17) 藤岡晃ほか：GPS測量に基づく土量管理システムの開発、土木学会第47回年次学術講演会概要集(第VI部門)、1992年。
- 18) 岡野幹雄ほか：GPSアンテナの水平保持装置の開発、土木学会第47回年次学術講演会概要集(第VI部門)、1992年。
- 19) 藤岡晃ほか：GPS測量を用いた土工出来形測定システムの開発、土木学会論文集、No. 468/VI-19、pp. 31～38、1993年6月。
- 20) 岡野幹雄・菊田勝之・藤岡晃：リアルタイムキネマティック測量システムの検証、土木学会第48回年次学術講演会概要集(第VI部門)、1993年。
- 21) 菊田勝之・岡野幹雄・藤岡晃：リアルタイムキネマティック測量システムの開発、土木学会第48回年次学術講演会概要集(第VI部門)、1993年。

(1993.10.18受付)

## DEVELOPMENT OF A GPS-BASED MARKING-POINT SURVEYING SYSTEM

Katsuyuki KIKUTA, Akimasa WAKU, Shunsuke SAKURAI and Ikuo KAWASHIMA

The Global Positioning System (GPS) which recently has taken rapid strides is able to obtain 3-dimensional coordinates very accurately. In the GPS, only one person can perform surveying work, and in kinematic survey, among others, can complete the observation at each marking point in only a few seconds. To date, application of the GPS has reduced labor in a large number of surveying works. Most surveying conducted at construction sites is by the conventional marking-point surveying system, which requires the realtime surveying results to be attained. To eliminate this, a system in which online data can be processed through GPS-based kinematic surveying in order to obtain almost realtime measurement results was developed. Furthermore, based on this new system, a GPS-based marking-point surveying system as discussed in this paper was developed.