

60. GPS を利用した計測，測量技術

鹿島建設㈱：*三浦 悟，廣瀬 素久
今井 道男

1. はじめに

我が国で GPS (Global Positioning System) の建設分野への導入が検討されてから 7~8 年が経つ。この間多くの GPS を利用した計測システムが報告されてきたが、特に、2、3 年前から登場した GPS リアルタイム測位技術 (RTK: Real Time Kinematic-GPS) は、建設分野での GPS の活用範囲を確実に広げつつある。

本報では、RTK-GPS を用いて開発し、実際の工事現場に適用しているシステムの中から、大規模土工事における測量システム及び危険地域での無人化施工における仮想指標提示システムを紹介する。

2. 建設分野で利用する GPS の利用形態と特徴

GPS には多くの機能があり、それらの詳細な原理や機能の説明は、他の参考書などに譲るとして、ここでは建設分野で使われている利用形態と特徴について概要を記す。

GPS の利用形態は、単独測位法と相対測位法の 2 つに分けられる。GPS は本来、米国防総省が人工衛星を使って航空機や船舶の後方支援を行う目的で開発したもので、一般的には単独測位法が最も普及している。市販のカーナビ等もこの方法で、受信機で同時に 4 基の GPS 衛星の電波を受信し、各衛星までの距離を測定することによって測位を行っている。しかし、単独測位法では数 10m から 100m 程度の精度しかないため、建設分野では、相対測位法が使われている。

相対測位法の代表であるスタティック (静止) 測位が、工事現場の基準点の測量に用いられている。これは、たとえば国家基準点と計測したい点に GPS 受信機を置き、そのまま 60 分以上衛星データを取得・記録し、そのデータを持ち帰ってコンピュータ処理して結果を得るもので、精度は基準点からの距離が 10 km 程度でも ± 10 mm 程度と非常に優れている。この方法を使えば互いに見通すことのできない地点間、たとえば山岳トンネルの坑口間や、長距離で従来の光学測量では誤差が大きくなってしまふ地点間、たとえば渡海測量が簡単に短期間で測定することができ、建設分野での GPS 利用の代表的な方法となっている。スタティック測位の他にも、相対測位法としてキネマティック測位や DGPS 測位、RTK-GPS 測位といった方法がある。このうちリアルタイムで 2~3 cm の精度が得られ、最近の建設分野における GPS 利用計測技術のほとんどに採用されている RTK-GPS について説明する。

この方法は、図-1 のように 1 台の GPS 受信機を座標の分かった位置に設置し (基準点)、その他の受信機を測定したい地点に配置する。ここで基準点の受信機と同じ人工衛星からの信号を受けると、そのデータの違いによって測定点の基準点からの相対位置が求まるというもので、この計算をリアルタイムに行うために、図のように測定点に基準点のデータを伝送している。この RTK-GPS を利用した各種システムについて次項から述べる。

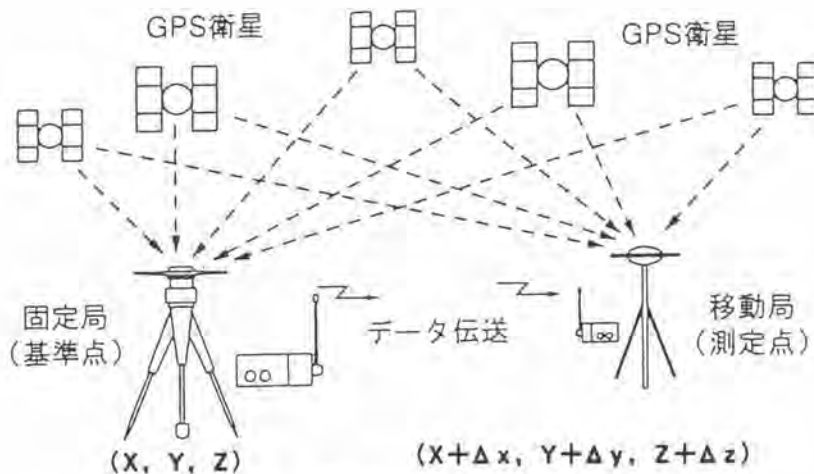


図-1 RTK-GPS の構成

3. 大規模土工事における工事測量システム

(1) 開発の背景、目的

土工事では、日常管理業務として測量が大きなウェイトを占めており、特に大規模土工では、多くの労力、費用を費やしている。従来の光学測量方法での現場測量は、通常2~3人1組のチームで行われており、広範囲の測量では多数の測量技術者が必要となっていた。また、航空写真による定期的な写真測量も行われているが、撮影してから結果が出力されるまでの時間もかかるため、1日3~5万m³を造成するような工事では、より迅速な結果出力が望まれていた。このため、日常的な出来形測量の効率化・省力化を目的として、一人で簡単に測量が行える可搬式の簡易工事測量システムを開発した。

(2) システムの概要

このシステムは次の機能を持っている。

- ① 中心線、縦断・横断測量
- ② メッシュ点測量
- ③ 丁張等の簡易的な設置

この中から縦断・横断測量の概要を示す。(図-2参照)

システムの特徴は、誰でも測点、測線に簡単に到達でき測定したい地点にGPSアンテナを立てるだけでその座標が確定できることにある。

図-3に作業員に携帯させるWindowsのノートパソコン画面の例を示す。画面の中央に計画測線を示し、自己の位置から測定すべき箇所までの相対位置関係が分かるようになっている。また、計画測点や既に測定した点などを色分けして示しているため測量の知識の無い作業員でも、間違いの無い計測が可能となっている。測定データはCADにそのまま入力できるので、出来高数量なども迅速に算出することが出来る。実際にはGPSでの計測が難しい環境の箇所もあり、従来の測量法と併用しているが、従来に比べ40~50%の省力化が達成されている。



図-2 縦断・横断測量の概要



写真-1 使用状況

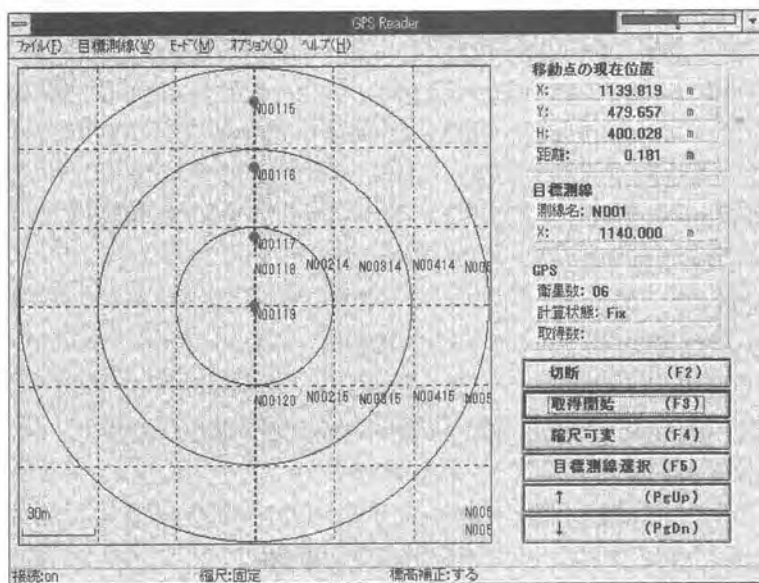


図-3 携帯用ノートパソコン画面の例

また、このシステムの応用として超音波測深機との組み合わせで、埋め立て工事の出来形測量（深淺測量）を行い、陸上、海上の測量データを CAD で一元的に管理するシステムも稼動している。（写真-2、図-4）



写真-2 深浅測量状況

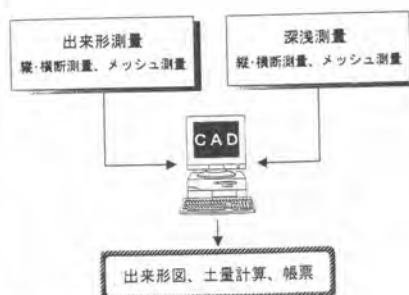


図-4 データ処理システム

4. 危険地域での無人化施工における GPS 利用

雲仙普賢岳の復興工事における除石工事や砂防ダムの建設工事に代表される危険地帯での無人化施工では、1994年に現地で試験施工が実施されてから、これまでに多くの GPS を利用した遠隔施工システムが開発され、建設分野での GPS 活用の大きな役割を果たしている。

このプロジェクトでは、建設機械を約 2 km の距離から遠隔操縦することで無人化を図る施工法が要求された。当社ではプロジェクト開始当初から GPS 等の技術を適用して、建設機械の誘導・運行管理及び遠隔測量システムなどの施工技術を開発してきた。これらのシステムについては既に幾度か発表しているのですが、ここでは、現在遠隔施工のための支援技術として開発を進めている GPS と仮想現実感技術を利用した仮想指標提示システムについて紹介する。



写真-3 遠隔施工状況

(1) 開発の背景、目的

通常の土工事では、掘削位置、掘削角度、掘削深さ、盛り土高さ等の情報を建設機械の操縦者に知らせるため測量丁張が置かれる。しかし、遠隔施工においては丁張を設置することができないため、法面作業など出来形精度を要求される作業に対して対応する必要があった。このため GPS やジャイロコンパス、仮想現実感技術を利用した仮想指標提示システム (Virtual Survey Marking System : VSMS) を開発した。

(2) システムの構成、特徴

このシステムは、図-5に示すように、建設機械の運転席からの映像を撮像するCCDのステレオカメラと仮想視標作成部及びこれらの画像を合成する画像合成部及び立体映像表示部から構成される。

ステレオカメラは建設機械の操作室に固定して搭載し、その他の機器は遠方の遠隔操作室内に設置する。操縦者は、合成し

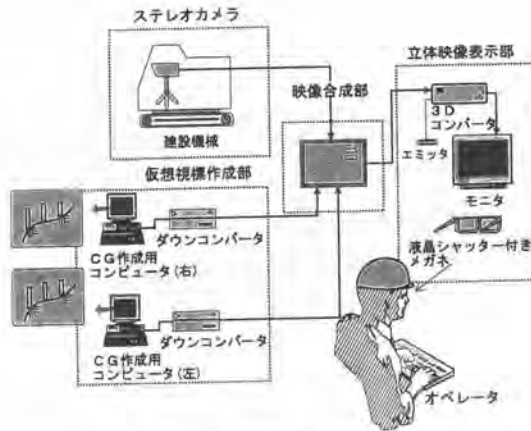


図-5 VSMSの構成

た画像を液晶シャッターメガネを介して臨場感ある立体画像として見る事ができる。ステレオカメラは、建設機械が移動すると位置や姿勢も変わるためにその撮像範囲が変化し、一方、仮想指標は設計情報を表わすので、ステレオカメラ映像が変化しても常に基準となる位置に提示しなければならない。このためには建設機械の位置、姿勢をリアルタイムで計測し、モニター上での仮想指標の作成位置を補正する必要がある。この測位装置として、遠隔操作室から長距離でも精度が確保できるGPSを利用している。

(3) 基本性能確認

VSMSの基本性能を把握するために雲仙普賢岳の工事現場において遠隔式油圧ブレーカを用いて、位置決め操作を対象とした実験を行った。図-6に実験方法を示す。杭上の仮想視標はステレオカメラ搭載位置から4.5m~10.5mの範囲に2m間隔で設けた。また、実物の測量杭を設置して、運転席上のカメラからの映像をもとに操作する従来の遠隔操作方式での位置決め及び通常の直接操作方式との違いについて実験した。写真-4、5に実験状況を示す。

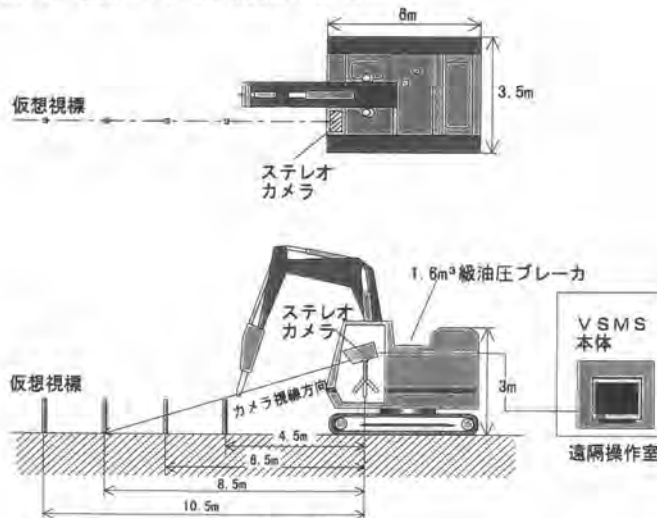


図-6 実験方法



写真-4 実験状況（直接方式）



写真-5 実験状況（VSMS方式）

図-7に各実験における10回の測定結果を示す。

VSMS方式では距離に関わらず約0.1m程度の位置決め誤差であり、VSMSを用いない遠隔操作方式や直接操作方式よりも誤差が小さかった。

これは、測量杭までの距離が大きくなるに従い、色、形状とも不鮮明になったり、遠近感の判断が難しくなるため、VSMSの仮想視標はどの距離でも鮮明な像を表示できたことによるものと思われる。

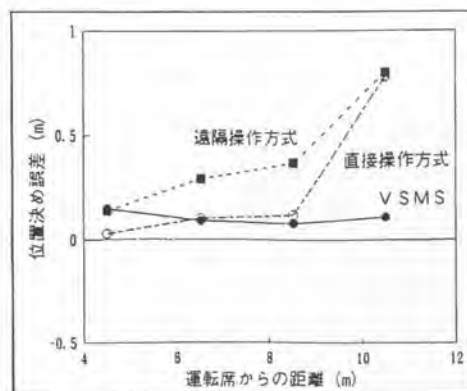


図-7 実験結果

5. おわりに

これまで紹介してきたシステムのほかにも多くのGPS利用例がある。特に1995年1月に発生した阪神大震災時には地震によって被害を受けた地域の復旧のために必要な測量に、ズレてしまったそれまでの基準点に代わって威力を発揮したのは記憶に新しい。また、その後の神戸港復旧工事などでもRTK-GPS、DGPSによるシステムが作業船の位置決めに使われ、今では港湾工事でGPSを使うことは一つの常識となっている。

また、現在建設省では全国約900箇所にGPS連続観測施設（電子基準点網）を設置して、地震予知のための地殻変動の監視に活用しているが、近い将来には一般に開放し、スタティック測量の基準点或は、RTK-GPSの固定局として活用する試行や検討がなされている。

このように建設分野でのGPS利用環境は整ってきており、ともすれば特殊な工事だけに利用されるものと思われがちであったGPSも今後は多くの場面で使われ、我々にとってより身近な存在となっていくと思われる。