

阪神・淡路地方の臨時電子基準点 Operation of GPS Observation System in Hanshin-Awaji Area

測地観測センター 飯村友三郎

Geodetic Observation Center Yuzaburo IIMURA

日本測量協会 増田 實

Japanese Association of Surveyors Minoru MASUDA

要旨

国土地理院及び震災復興測量協議会では、1995年兵庫県南部地震に伴う復興測量を迅速に行えるように、被災地周辺に8点の臨時電子基準点を設置してGPSの観測データや成果等を提供した。データの提供には、初めての試みとしてパソコンネットワークを活用した。

各種測量に臨時電子基準点を利用することで、既知点での観測が不要になるとともに既知点の観測データが公衆電話回線を利用してどこからでも取得できるために、測量作業の効率化に寄与することが実証された。

1 はじめに

国土地理院では、全国の広域的地殻変動の検出と高精度の測地網を構築することを目的としてGPS連続観測システムを運用している。GPS連続観測システムでは、全国に電子基準点と呼ぶGPSの観測局を設置してGPS観測を連続して行うことで、これまでの測量では、困難であった 10^{-8} オーダーの測量精度を達成している。

これにより、1995年兵庫県南部地震等の大地震やプレート運動に伴う地殻変動の様相を「早期に」「正確に」明らかにしてきた。しかし、1995年当時は、電子基準点の配置は約120kmに1点であることから公共測量等で基準点として使用するためにはかなりの制限があった。

臨時電子基準点は、そのような中で発生した兵庫県南部地震に伴う復興事業に先だて実施される公共測量等を迅速に行えるように被災地に8点を設置したもので、基準点の改測や復興基準点の整備が完了するまでの臨時的な処置として設置した。また、臨時電子基準点の設置は、当初、1995年3月8日から1995年9月30日までの予定であったが、多数の利用者からの要望により1996年3月31日まで延長した。その間、観測データ等は、パソコン通信により提供してきた。

本報告では、臨時電子基準点の概要、データ提供手法及びデータ利用状況について報告する。

2 臨時電子基準点の運用

臨時電子基準点は、国土地理院が被災地に設置し、その運用は、震災復興測量協議会が行った。

震災復興測量協議会は、兵庫県南部地震に伴う復興測量のうちGPS測量に関するサービスを行うことを目的として(社)日本測量協会、(財)日本測量調査技術協会、(社)全国測量設計業協会連合会及び(社)兵庫県測量設計業協会の公益法人と(株)トプコン、トリニブルジャパン(株)、ソキア(株)、ライカ(株)、(株)ニコン、(株)ジェックの測量機器メーカーが自発的に結成した団体である。

震災復興測量協議会では、次のサービスを行った。

- ① 臨時電子基準点の観測データ等をパソコン通信で一般ユーザに配信する。
- ② GPS測量により復興測量を行う測量会社に対して、GPS受信機を無料で貸し出す。GPS受信機は、測量機器メーカーから提供された。
- ③ GPS測量により復興測量を行う測量会社に対して、必要な技術指導を行う。
- ④ 臨時電子基準点のメンテナンスのために巡回を行う。

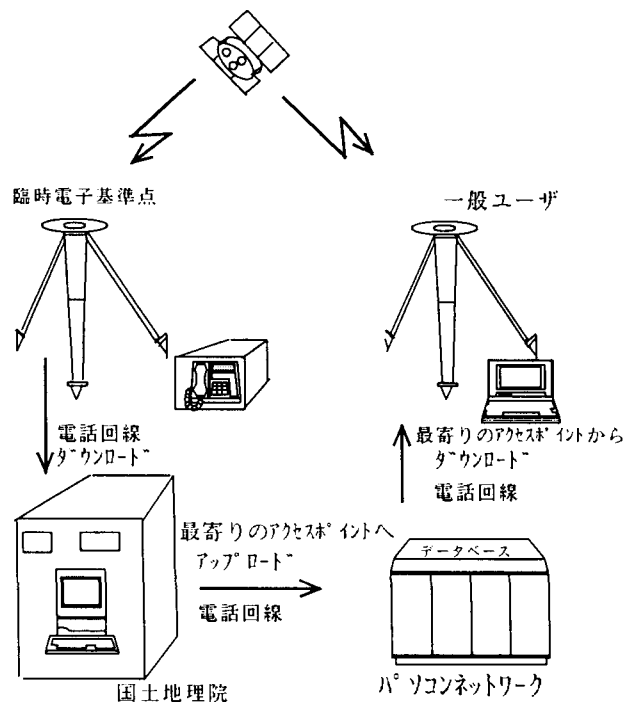


図-1 観測データの配信の概念図

3 臨時電子基準点の概要

臨時電子基準点とは、被災地周辺に設置したGPSの観測局をいい、臨時電子基準点の観測データを利用するためには、臨時電子基準点の観測制御を行うコントロールセンター及びGPSの観測データを利用者に配信するパソコンネットワークで構成されるシステムが必要となる。

臨時電子基準点の観測データを利用者に配信するためのパソコンネットワークは、データベースと全国に設置されたアクセスポイントからなり、データのアップロード、ダウンロードとも最寄りのアクセスポイントを利用できることからデータ通信の経費が節減できるメリットがある。

1) 臨時電子基準点

臨時電子基準点は、GPS衛星からの電波を受信するGPSアンテナ、GPS受信機、通信装置及び無停電装置で構成されている。

GPS受信機は、ユーザとなる測量技術者の利用を考慮して短距離から長距離の測量に対応できるように、2周波の搬送波位相とPコードが受信でき、かつ、A-S (Anti-Spoofing) 対応の「トプコンGP-R1DY」を配置した。

また、GPSアンテナは、期限付きの設置であることから三脚に取り付けて、受信機等は機器収納箱に保管した。

通信装置は、コントロールセンターのある国土地理院(つくば市)からの制御により必要な観測データの転送等を行っている。

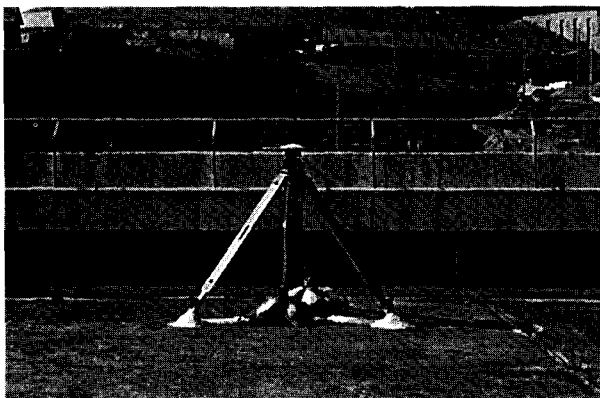


図-2 臨時電子基準点「940907」

無停電装置は、不慮の停電や瞬断による観測データの欠測を防ぐために設置してある。臨時電子基準点は、表-1に示す小学校の屋上に設置したが、学校が被災者の避難所になっており、避難者による電気容量を越える電気器具の使用から、ブレーカーの電源が切れることがたびたび発生した。

表-1 臨時電子基準点設置位置

点番号	設置場所	住所
940901	光明小学校	宝塚市光明町8-40
940902	山手小学校	芦屋市山手町8-3
940903	摩耶小学校	神戸市灘区畑原通4-1-1
940904	和田岬小学校	神戸市兵庫区和田宮通6-1-18
940905	つつじヶ丘小学校	神戸市垂水区つつじヶ丘3-1385-79
940906	高丘東小学校	明石市大久保町高丘3-2
940907	石屋小学校	津名郡淡路町岩屋529-1
940908	富島小学校	津名郡北淡町富島100

2) コントロールセンター

コントロールセンターは、国土地理院に設置され、通信装置、データ管理装置、解析装置で構成されている。

通信装置は、臨時電子基準点で取得した観測データを定められた時間毎にダウンロードを行うとともにGPS受信機の観測スケジュールやファームウェアの変更等を行う装置である。

観測は、データ取得間隔が30秒で観測高度角を15度に設定し、UTC (世界時) の0時から3時間毎で24時間の観測(1日8セッション)を行った。データのダウンロードは、各セッションの観測終了後に行った。

表-2 観測スケジュール

セッション 番	UTC 世界時	JST 日本時	パソコンネットワーク へアップロード
1	0:00	9:00	登録
2	3:00	12:00	登録
3	6:00	15:00	登録
4	9:00	18:00	登録
5	12:00	21:00	未登録
6	15:00	0:00	未登録
7	18:00	3:00	未登録
8	21:00	6:00	登録
	0:00	9:00	

通信には、NTTのアナログ回線を用いた。データ転送を高速化のためにデジタル回線であるISDN回線の利用も検討したが、被災地域での電話回線の復旧工事による回線開通の遅れから開設が延びるために断念した。

観測データは、ダウンロード終了後に異なる機種でGPS受信機でも使用できるように共通フォーマットであるRINEX (Receiver INdependent EXchange) フォーマットに変換してデータの保存及びパソコンネットワークへのアップロードを行った。観測データのアップロードが完了するのは、観測終了後約1時間である。このとき、深夜から早朝にあたる5～7セッション(日

本時間で21時～6時)の観測データのアップロードは行っていない。

また、各臨時電子基準点の位置変化量を点検するために必要に応じて基線解析を行った。データ管理装置、解析装置は、GPS連続観測システムのものを利用した。

3) 観測データの配信

臨時電子基準点での観測データは、パソコン通信により一般ユーザに提供した。観測データをパソコンネットワークにアップロードするためのプログラムは、復興測量に緊急を要することから新たな開発は行わずに、GPS連続観測システムにおいてデータ提供手法を検討するために構築したシステムの一部を臨時電子基準点用に改良して使用した。また、パソコンネットワークは、試験運用のために既に開設してあったニフティサーブのプライベートフォーラムを利用した。プライベートフォーラムとは、ニフティサーブ内のデータベースの一部を借用して、目的にあったデータベースを構築するもので、データ管理等の運営は全て臨時電子基準点のシステム管理者が行う。ニフティサーブ側は、定期的なシステムのメンテナンスだけを行っている。

データベースには、「GPSDATA」という名称の電子基準点ユーザフォーラムを開設しており、入会を申請して登録された会員のみが観測データの取得が可能になる。

①「GPSDATA」への登録

ユーザ登録は、利用状況を把握するために行うもので、誰でも登録できるが、入会のためには、予め、ニフティサーブの加入者であることが条件となる。

登録を希望する場合は、表-3の事項を電子メールでシステム管理者あてに送付して登録申請を行い、システム管理者が許可したユーザのみが観測データのダウンロードが可能になる。

表-3 登録申請の記載事項

氏名	電子太郎
法人名	電子測量(株)
ニフティサーブID	ABC12345
住所	〒659 兵庫県〇〇市△△ □番
電話番号	1234-56-7890
FAX番号	1234-56-7891

②「GPSDATA」のデータベース構造

「GPSDATA」のデータベース構造は、表-4に示すように東日本と西日本観測点データのブロックに別れ、それぞれのブロックで各々10個のデータを格納するライブラリを用意した。

臨時電子基準点の観測データは、西日本観測点の1～

表-4 「GPSDATA」のデータベース構造

フォーラム名	ブロック名	ライブラリ
GPSDATA	東日本観測点データ	ライブラリ1(非公開)
		ライブラリ2(")
		・ (")
		・ (")
		ライブラリ10(")
	西日本観測点データ	ライブラリ1(940901)
		ライブラリ2(940902)
		・
		・
		ライブラリ8(940908)
		ライブラリ9(成果表)
		ライブラリ10(非公開)

8のライブラリを各観測点毎に使用して公開した。各々のライブラリには、512件のデータを格納することが可能であるが、必要なデータの検索に時間がかかるために、通常は1ヶ月分のデータを格納した。また、ライブラリ9には、観測点の成果表を格納した。

一般の利用者は、観測点のライブラリから必要なデータを選択してからダウンロードのキー操作をすることによりデータが取得できる。

③データファイルの形式

a. 観測データ

観測データは、各セッション毎にRINEXフォーマットに変換されたテキストファイル形式で各観測点のライブラリに格納した。格納されているファイルは、観測データ、衛星の軌道データ、気象データを圧縮プログラム「LHA」によって1つにまとめて圧縮した。

格納したファイル名は、表-5のとおりである。

表-5 ファイル名の付け方

観測、軌道、気象のデータをデータ圧縮プログラム「LHA」でまとめて圧縮したファイル	
SSSSDDDF.YYZ	
圧縮データを解凍すると次のファイルに分かれる。	
観測データ	SSSSDDDF.YY0
衛星の軌道データ	SSSSDDDF.YYn
気象データ	SSSSDDDF.YYm

ただし、SSSS・・・測点名
DDD・・・通算日
F・・・セッション番号
YY・・・西暦下2桁
例 09010501. 96o
(940901観測点で1996年の通算日50日の1セッション目の観測データ)

b. 観測点成果等

ライブラリ 9 には、観測点の成果表の他に基線解析を行う場合に必要な WGS-84 系における成果値及び圧縮プログラム「LHA」を格納した。

ファイル名、利用方法は表-6 のとおりである。

表-6 成果表等のファイル名

BESSEL.DAT・・・日本測地系による各観測点の成果 (既知点成果として用いる)
WGS-84.DAT・・・WGS-84系による成果 (基線解析の固定点成果として用いる)
LHA.EXE・・・圧縮プログラム (圧縮されたデータの解凍に用いる)

④「GPSDATA」から取得したデータの解析

パソコンネットワークからダウンロードしたデータは、解凍後に各自が取得した観測データとともに基線解析を行う。しかし、解析ソフトウェアによっては RINEX フォーマットに変換されたデータをそのまま読み込むことができない場合がある。

このような場合には、解析ソフトウェアに適合したフォーマットに変換後に基線解析を行う。フォーマット変換プログラムは、各 GPS 機器メーカーで用意している。

4 測量成果の取り扱い

臨時電子基準点は、表-7 に示すように三角点の偏心点として取り扱った。つまり、通常の三角点を利用した場合と同様に、測量法に定められた所定の手続きが必要となる。

手続きとしては、測量標の使用（測量法第26条）、測量成果の使用（測量法第30条）、公共測量実施計画書の提出（測量法第36条）が必要である。

作業規程は、「GPSを用いる公共測量作業規程マニュアル(案)」及び「建設省公共測量作業規程」を適用した。

表-7 臨時電子基準点の成果

三角点名称	臨時電子基準点	成果値 (日本測地系)
IV△末成小学校 偏心点	940901	B = 34° 47' 16" 7101 L = 135° 21' 37" 9470 H = 40.17m

II△打出 偏心点	940902	B = 34° 44' 18" 3169 L = 135° 18' 12" 1142 H = 90.89m
IV△海星学院 偏心点	940903	B = 34° 42' 45" 0464 L = 135° 13' 24" 2615 H = 76.63m
II△和田岬 偏心点	940904	B = 34° 39' 06" 8297 L = 135° 10' 39" 8701 H = 12.83m
IV△東名 偏心点	940905	B = 34° 39' 15" 2710 L = 135° 04' 52" 9579 H = 91.28m
IV△石ヶ谷 偏心点	940906	B = 34° 41' 52" 4473 L = 134° 57' 11" 5471 H = 71.85m
IV△高尾 偏心点	940907	B = 34° 35' 02" 6542 L = 135° 01' 15" 0314 H = 23.50m
IV△富島 偏心点	940908	B = 34° 32' 32" 5952 L = 134° 55' 37" 8371 H = 18.26m

5 利用状況

電子基準点ユーザフォーラムに登録したユーザは、総数で167名であった。登録者の46%が測量業関連であったが、測量機器メーカー（20%）、研究機関等（7%）、建設業（5%）の利用者があった。

ニフティサーブのプライベートフォーラムでは、利用されたデータの件数、種類は分かるが、利用者名については、プライバシー保護のために公開されないの「誰がどれを使った」といった情報までは把握できない。把握できない部分については、後述するアンケートで捕捉調査を行った。

利用件数は、394日間のデータ提供期間中で5,411件であった。臨時電子基準点の利用状況を図-3に示す。

観測点毎では、図-4のとおり、人口密度の高い神戸市周辺での利用が多く目立った。

利用状況で目立ったのは、4月17日から第4セッションの各観測点のデータを同一の利用者が毎日ダウンロードし続けたと推測されるものが見られた。これは、アンケートの結果から構造物の変位量調査、地盤変動調査等の研究目的の利用と思われる。この同一セッションの利用が全体利用の約半数を占めていた。その反面、利用されない観測データは全体の70%あった。

利用時間帯は、図-5に示すとおり、生活活動時間帯である1～4セッション（9:00～18:00）での利用が多く見られた。

また、GPS測量機の貸し出しは、15社が38回で延べ1,215台利用した。1回の貸し出し台数は1～6台で、貸し出し日数も3～29日と様々であった。

6 利用者のアンケート調査結果

利用者の意見を臨時電子基準点の運営に反映させるために、登録者全員（当時131名）を対象にアンケート調査を実施した。そのなかで、アンケートの回答数は、22

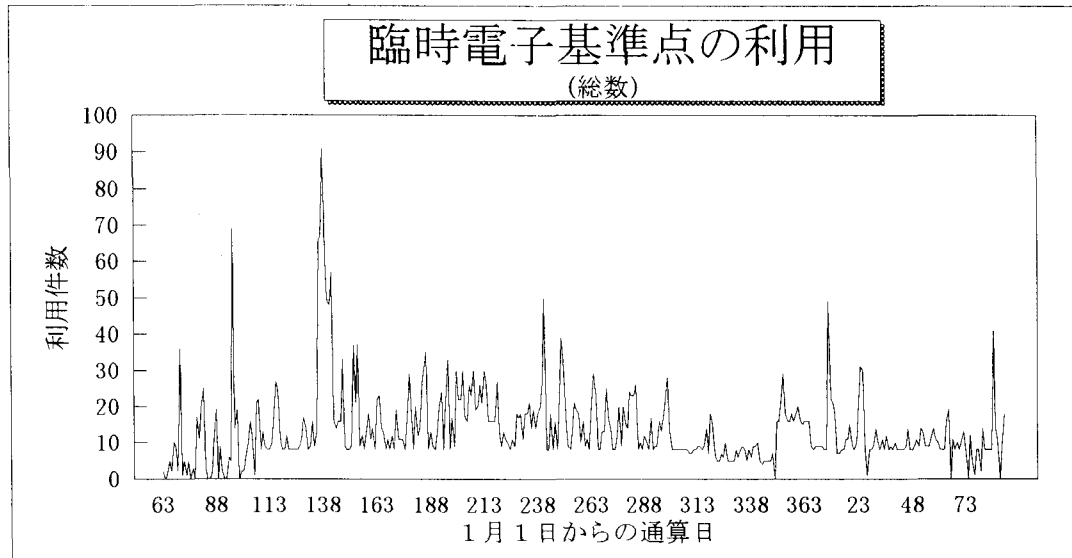


図-3 臨時電子基準点の利用状況

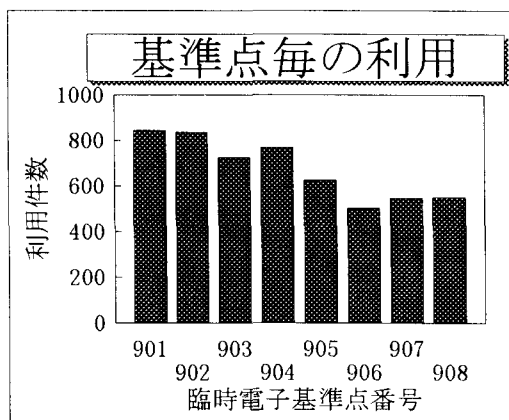


図-4 基準点毎の利用状況

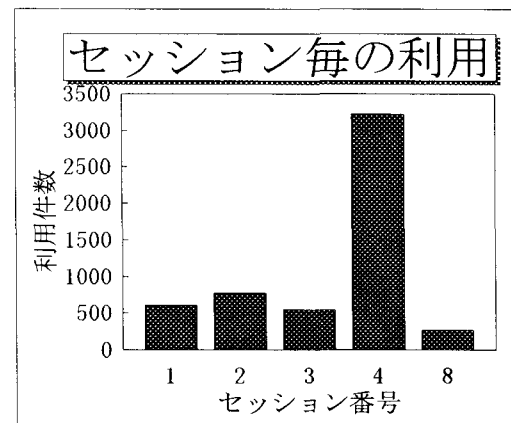


図-5 セッション毎の利用状況

件であった。

回答数が予想に反して少なかった要因としては、三角点の改測が進み、三角点の利用が可能になってきたために、登録者が積極的に臨時電子基準点を活用する必要がなくなったためと考えられる。

調査から、臨時電子基準点を利用した測量は、基本測量、公共測量、港湾測量、各種調査（構造物変位調査、地盤変動調査）及び研究目的で利用されていた。

利用するなかで発生したトラブルは、「休日に観測データがアップロードされないことがあり、その日のうちに基線解析ができなかった。」「RINEXフォーマットを利用した基線解析ができなかった。」「仮定平均計算での偏差が大きかった。」「観測点の運用情報が分かりにくい。」等があったが、RINEXフォーマットによる基線解析が普及していないための「不慣れ」によって起こるものが多かった。

利用した感想では、「作業効率が上がった。」「便利な

ので臨時電子基準点の運用期限を延長してほしい。」等の意見が多かった。

また、将来の要望としては、「恒久的施設として全国規模で実施してほしい。」「リアルタイムキネマティック、デファレンシャルGPSの運用も行してほしい。」等の意見が目立った。

7 データ提供の考察

臨時電子基準点は、期限限定の一時的な措置として実施したが、各分野からいろいろな意見を頂いた。その多くはシステムの有効性に対する評価とともに全国に設置済みの電子基準点を利用したいという要望も多い。

例えば、「ダム等の大型構造物の変動調査」「地質調査の基準点」「地滑り調査」等に利用するためにはどうすれば良いのかとの問い合わせも多い。

臨時電子基準点で実施したデータ提供の手法を活用すれば、すぐにでもそれは可能であるが、将来的に全国に

約1000点以上設置されるであろう電子基準点のデータを提供するためには、多少の問題点がある。

まず、データの利用者には、構造物の変動調査を行うときのように定常的に長期間の観測データを必要とする場合と公共測量のように限られた期間の観測データを必要とする場合に分けることができる。そして、これらはどちらの場合でも限られた地域でのみの利用である。

臨時電子基準点では、震災の復興測量を対象としているのでいかなる時でも対処できるように、全ての観測データを提供してきた。しかし、その結果、利用されなかった観測データは全体の70%あった。これは通信費、データベースの管理経費の浪費になるとともに全てのデータを提供せねばならないシステム管理者の負担にも繋がってくる。

これらのことを考慮すると必要な観測データだけを提供する方法が有効であろう。具体的には、次の様な運用方式が有効であると思われる。

- 1) 「国土地理院等のデータセンターにデータ提供専用のデータベースを置き、利用者が必要なデータをインターネットやISDN回線を活用してダウンロードする。」
- 2) 「利用者は、電子メールを用いてデータセンターにデータの請求を行い、データセンター側は、電子メールの内容を自動的に判断してパソコンネットワークのデータベースにアップロードする。その後、利用者はパソコンネットワークからダウンロードする。」
- 3) 「パソコンネットワークの混雑でアップロードできないことを考慮して前述の2つの併用を行う。」

以上のような3つの方法を用いることにより、外部に持つデータベースの容量と通信費は最小限で済むであろう。

参考までに、ISDN回線を利用すれば、3時間の観測データは1分以内でダウンロードでき、経費は遠距離通信でも数十円であるのでデータベースはどこにあってもあまり問題ないであろう。また、パソコンネットワークを利用した場合は、市内のアクセスポイントからダウンロードすることを原則とすると3時間の観測データが通信速度2400bpsで約12分、9600bpsで約3分であり通信経費は、やはり数十円である。

8 おわりに

国土地理院では、新しい測量体系の検討を行い、電子基準点で取得した観測データが測量事業、地殻変動の研究及び各種調査等において有効に利用されるようにするとともに効果的なデータ提供手法を検討しているところである。

臨時電子基準点では、初めての試みとしてパソコン通信によるデータ提供を行い、その有効性が確認され、参考にすべきことも多い。今後は、さらに「利用し易さ」「経済性」「安定性」を念頭にシステムを構築し、発展させていくことが重要である。

しかし、その反面、1996年4月には、公共測量作業規程も改訂されGPS測量も加えられているものの、GPS測量が公共測量等で利用されてから2～3年と短期間であるために、まだ、一般的な測量手法となるまでには至っていない。GPS測量の幅広い普及と有効利用のために技術的援助も幅広く行う必要があると思われる。