

投稿論文(和文ノート)

**TECHNICAL
NOTE**

魚眼レンズにより撮影された上空写真に基づく GPS測量の最適観測時間の選定

桜井春輔¹・川嶋幾夫²・山野辺裕一³・芥川真一⁴

¹正会員 工博, Ph.D. 神戸大学教授 工学部建設学科 (〒657 神戸市灘区六甲台町1-1)

²正会員 博(工) 陸上自衛隊施設学校研究部第3研究室 (〒312 茨城県ひたちなか市勝倉3433)

³正会員 大林組阪神大石工事事務所 (〒657 神戸市灘区灘南通3-1-19)

⁴正会員 Ph.D. 神戸大学助手 工学部建設学科 (〒657 神戸市灘区六甲台町1-1)

GPS (Global Positioning System: 汎地球測位システム) を用いるにあたっては、観測点近傍の建物や立ち木などによって人工衛星からの電波の受信が妨げられるため、測定に必要なデータをいかにして確保するかが問題になる。そこで、本研究では、測点の上空の障害物の位置を予め写真撮影によって記録する一方、人工衛星の飛来位置を計算し、これらを照合することにより、それぞれの基線の測量についての経時的な受信可能衛星数を求めるシステムを開発した。このシステムを用いることで、確実かつ効率的な測量計画をたてることができる。

Key Words : GPS(Global Positioning System), survey planing

1. はじめに

GPS (Global Positioning System) は、GPS専用打ち上げられた人工衛星を使用し、そこから発信された電波を地球上で受信し、それを解析することにより受信点の位置を三次元的に求めるシステムである。このGPSの用法のうち、複数の観測点において同時に受信した搬送波の位相の差を用いてこれらの点の相対座標を求める干渉測位法では、数100kmまでの基線長を0.1~1.0ppm程度の精度で測定できる¹⁾。そのため、GPSの干渉測位法はわが国では、まず、測地の分野において長基線の変位の測定手段として用いられた²⁾。最近は、土木の分野においても急速に普及し、基準点測量^{3)~7)}、出来高測量などの土木測量^{8)~10)}、あるいは地すべり移動¹¹⁾や変位計測¹²⁾などに用いられるようになってきた。

GPS測量でよく用いられるスタティック測量において、一定の精度で測量を行うには、ある程度の時間継続して観測しなければならない。そのため、継続して観測することが必要な時間が図-1のように推奨観測時間として示されている¹³⁾。図からわかるように基線長が短い場合においては、4個衛星受信時で90分以上、5個衛星受信時で60分以上継続して観測することが求められている。GPSのシステムの完成時には6つの軌道上にそれぞれ4個の人工衛星が

配置され、地球上のどの位置においても常時仰角15度以上に4個以上の人工衛星が位置する。GPSのシステムが運用され始めてしばらくの間は軌道上に打ち上げられた人工衛星の数が少なく、測点の上空に4個以上の人工衛星が飛来する時間帯を選び観測しなければならない状態が続いていた。現在は、GPSの整備がすすみほとんどの時間帯で仰角15度以上に位置する4個以上の人工衛星からの電波の受信が確保できるようになってきている。

しかしながら、実際には、測点には、仰角15度以上に受信の障害になるような建物や立ち木が存在することが多い。そのため、衛星の配置による観測可能時間を選ぶ必要がある。

人工衛星の飛来位置は、計算で求めることができる。通常は、受信機に付属のソフトウェアを用いて、図化して表わすことができる。そのため、魚眼レンズを用いて測点の周辺条件を撮影した写真と、受信機付属のソフトウェアにより図化した候補となる観測時間帯の人工衛星飛来予想図を対照することでGPS測量のための測点を選定することが行われている¹⁴⁾。しかしながら、測点の上空の障害物の状況が複雑な場合においては、この方法では受信可能な人工衛星の個数を経時的に求めることは困難となる。

本ノートは、このような状況を考慮して、測点の上空の障害物の状況を撮影し、それから障害物の位

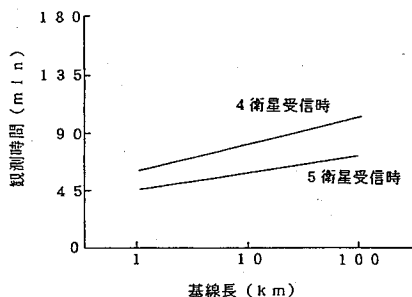


図-1 スタティック測定の推奨観測時間¹³⁾



写真-1 測点上方の撮影

置を読み取り、それを別に計算して求めた人工衛星の飛来位置と照合させることにより、対象とする基線の両端の測点において同時に受信可能な衛星の個数を経時的に求めるシステムを開発した。このシステムを用いれば、測点の近傍に障害物が存在する場合においても、確実に所要のデータを受信できる計画を事前に効率的にたてることができる。

2. システムの概要

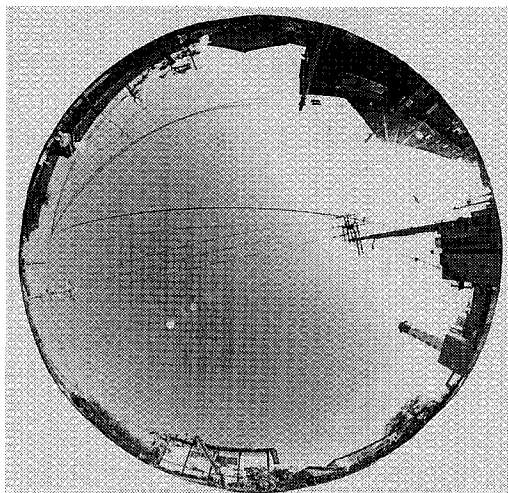
(1) 測点上空の障害物の状況の記録

観測点上空の撮影に際しては、全周にわたって仰角15度以上の範囲を収めなければならないことから、魚眼レンズを用いる。魚眼レンズの射像方法のうち、全体が円形に射像されるものについては、立体射影、等距離射影、等立体角射影および正射影の各方式がある¹⁵⁾。ここでは、等距離射影方式 ($y=f\phi$ 、ここで、 y : 像高、 f : 焦点距離、 ϕ : 画角) の魚眼レンズであるニッコールフィッシュアイ8mmF2.8¹⁶⁾を用いた。

撮影は、写真-1に示すようにレンズの中心が測点の



(a) 測点A

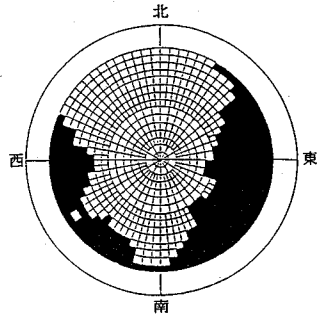


(b) 測点B

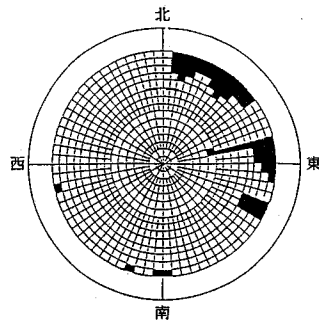
写真-2 測点上方の状況

直上にくるようにカメラを平板上に置き、方位磁針を用いて、カメラの方向を一定に行う。このとき、障害物の量を過小に評価しないため、カメラの位置はアンテナの位置よりも高くないようにする。

ここで、ある1つの基線を選び、その基線の両端となる二つの測点(以下、測点Aおよび測点Bとする。)において撮影した写真を写真-2に示す。そして、メッシュのそれぞれの要素の位置において障害物の有無を判断した。観測時間は4~5衛星受信時で60~90分以上と比較的長いため、実用上、観測予定時間は10分単位くらいで示するのが適当である。そのため、周回する人工衛星の仰角・方位角が1つの要素内に位置する時間が5分程度となるようにメッシュの大



(a) 測点A



(b) 測点B

図-2 測点上空の障害物の状況

表-1 人工衛星の軌道情報

SV 16 (distances in meters: angles in semicircles: times in seconds)			
WN:	6.800000e+002	ROW:	5.154900e+005
TGD:	5.122274e-009	IDOC:	4.600000e+002
TOC:	5.184000e+005	AF2:	0.000000e+000
AP1:	-3.410605e-013	AF0:	-3.043702e-005
IDOE:	2.040000e+002	CRS:	9.906250e+000
CRC:	1.853125e+002	CIS:	-1.245087e-008
CIC:	1.185797e-009	CUS:	3.183271e-006
CUC:	1.843914e-007	DELTA:	1.401986e-009
MSUB0:	-4.544978e-001	ECCENT:	9.505282e-004
OMEGASUB0:	2.456733e-001	ISUB0:	3.049199e-001
OMEGA:	-9.925681e-001	OMEGADOT:	-2.499291e-009
IDOT:	1.946319e-010	SQRTA:	5.153588e+003
TOE:	5.184000e+005		
ARN:	6.800000e+002	ATOW:	5.442390e+005
AECCENT:	9.484291e-004	ATO:	1.187840e+005
ALSUB0:	3.049400e-001	AOMEGADOT:	-2.462912e-009
ASQRTA:	5.153542e+003	AOMEGASUB0:	2.068316e-001
AOMEGA:	-9.905216e-001	AMSUB0:	-9.297755e-001

(注) この出力では、角度は半円の中心角を1として表わされているので、ラジアン単位にするには π を乗じる。

SV: 衛星番号, WN: システム運用開始時から元期までの週数, TOE: 軌道の元期, IDOE: 軌道の新しさを示す係数, SQRTA: 軌道長半径の平方根, DELTA: 平均運動の補正値, ECCENT: 衛星軌道の離心率, OMEGA: 近地点引数, MSUB0, OMEGASUB0, ISUB0: 元期の平均近点角, 昇交点経度, 軌道傾斜角, OMEGADOT: 昇交点経度変化率, IDOT: 軌道傾斜角変化率, CRC, CRS: 軌道半径に対する余弦, 正弦補正係数, CIC, CIS: 軌道傾斜角に対する余弦, 正弦補正係数, CUC, CUS: 緯度引数に対する余弦, 正弦補正係数
--

きを定めた。本システムでは、写真-2 (仰角0度以上) を用いて障害物の輪郭をデジタイザを用いてパーソナルコンピュータに取り込むようにした。そして、その情報に基づいて、図-2のようにそれぞれの要素について障害物の有無を判定した。なお、図-2のメッシュは仰角15度以上の範囲に設定しており、大円は仰角0度である。写真は中心から離れたところで歪が大きい。障害物の判定に用いるのは仰角15度以上の範囲であるため中心から大きく離れたところは除かれる。実際、仰角15度の付近で写真から判定した障害物の仰角・方位角と、トータルステーションで直接測定した値との差が最大でもそれぞれ2.5度以内で、要素(仰角・方位角それぞれ5度)の1辺の半分に満たないため、写真は歪の修正を行わず取り扱った。

(2)人工衛星の位置の計算

ここでは、基線長が短い測量を対象にしているの、測点AおよびBにおける人工衛星の位置は、人工衛星の軌道情報を用いて求めることができる(計算の方法は文献1などを参照)。軌道情報を表-1に示す。これは、Trimble社の受信機を用いて受信したデータを付属ソフト(Trimble-Plus解析ソフト)によって出力したものである。この軌道情報を用いてケプラーの式を解いて人工衛星の位置を求める(計算の手順については文献1などを参照)。これを基にして、測点A(B)における人工衛星の仰角および方位角を計算する。

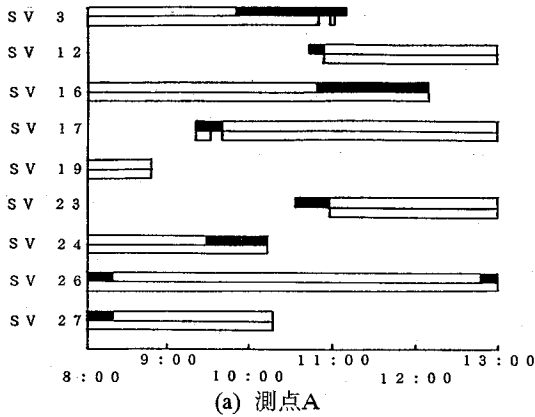
(3)経時的な受信可能衛星数の計算

ある一つの人工衛星の、ある時間における測点A(B)に対する人工衛星の仰角および方位角は、計算によって求められる。このとき、測点A(B)においてともに、この方向に受信の障害となるものが存在しなければ、受信可能であると判断できる。これをすべての人工衛星に対して、測量予定日の24時間について行えば、対象とする基線測量の観測に対する経時的に受信可能な人工衛星の数の推移が求められる。

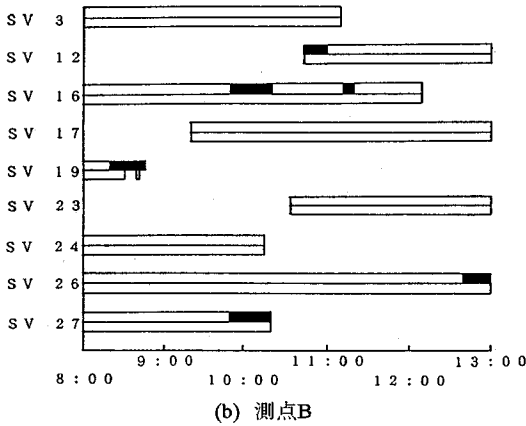
3. 検証

ここで提案した方法を検証するため、本方法で受信可能として求められた時間帯において、実際に受信できるかどうかを調べた。

さきに示した二つの測点AおよびBにおける観測に関して、本方法によって求めた受信可能時間帯と実際受信できた時間帯を対比して図-3に示す。この



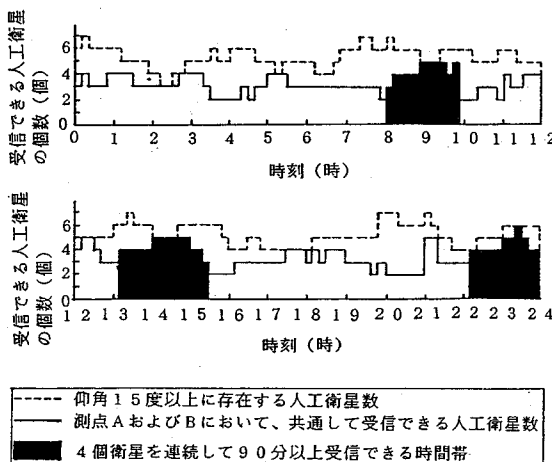
(a) 測点A



(b) 測点B

上段：仰角15度以上に飛来すると予測された時間帯
 うち網掛け部は障害物によって受信が遮られると予測された時間帯
 下段：実際に受信できた時間帯

図-3 受信可能時間帯と受信できた時間帯



--- 仰角15度以上に存在する人工衛星数
 — 測点AおよびBにおいて、共通して受信できる人工衛星数
 ■ 4個衛星を連続して90分以上受信できる時間帯

図-4 本システムで求めた経時的な受信可能衛星数
 (測点AおよびB間の基線測量, 1993年1月23日について)

図では、上段の帯は仰角15度以上に飛来する時間帯を、そのうち黒く塗りつぶした部分は、障害物によって電波が遮られると予測された時間帯を示している。また、下段の帯は実際の観測で電波が受信できた時間帯を示している(ただし、電波が受信できたかどうかは、共通フォーマットで示した生データを調べた結果である。このときのSN比が5以上であることは観測中に受信機の表示から確認している)。

図-3から、本方法で受信可能と求められた時間帯では、確実に受信できていることがわかる。よって、本方法を用いて、測量可能な時間帯を求めることができる。

4. 適用

ここで提案したシステムを用いて、任意の基線について経時的な受信可能衛星数の推移を求めることができる。そこで、測点A、B間の基線に対する1993年1月23日の経時的な受信可能衛星数を求めた。結果は図-4に示す。図中、点線はその時間における仰角15度以上に存在する人工衛星数を、実線は測点AおよびBで同時に受信できる人工衛星数を示している。このとき、推奨時間(4個以上の人工衛星からのデータを90分以上継続して受信)を満足するように測量するには、図において黒く塗りつぶした部分の時間帯において測定することになる。

実際に、1992年1月20日および1993年1月23日に、このシステムで計画した時間帯に測量を行った。このとき、基線長はそれぞれ、4576.001mおよび4575.990mと測定されており、よい精度で求められている。

5. まとめ

GPSを従来の測量の方法にかえて採用するとき、測点上空の障害物によって人工衛星からの電波が遮られることが問題になる。そこで、本研究では、測点上空の障害物の位置を撮影した写真を基に把握し、同時に人工衛星の飛来位置を計算し、これらより、対象とする基線の両端となる二つの測点において、ともに受信可能な人工衛星数を経時的に求めうるシステムを開発した。

実際に観測を行い、この方法を検証したところ、この方法によって評価した受信可能な人工衛星数については確実に受信することができた。また、実際にこの方法を適用し、その時間帯で測量した結果、よい精度で測量できた。

本システムを用いることによって、測点近傍に電波を遮る障害物が存在する場合でも、効率的な測量を容易に計画することができる。

謝辞：実測にあたっては、神戸大学岩盤力学研究室の元大学院生 皿海章雄君（現 清水建設）、および元大学院生 古谷茂也君（現 NKK）の協力を得た。また、フジタ技術研究所 和久昭正氏には多々ご便宜を図って頂いた。ここに関係各位に感謝いたします。

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.
- 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.
- 3) 村石公典, 片野悟：船舶位置決定の為の電波局位置測量, GPS測量の現況 講習会テキスト, 日本測量協会, pp.23-31, 1991.
- 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.
- 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.
- 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.
- 8) 藤岡晃, 和久昭正, 桜井春輔, 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, 土木学会年次学術講演会講演概要集(第IV部門), 1991.
- 9) 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回年次学術講演会講演概要集(第VI部門), 1991.
- 10) 神崎正, 西沢修一：人工衛星GPSによる土工管理システム, 土木学会誌1991年9月号, pp.12-14, 1991.
- 11) 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.
- 12) 清水則一, 桜井春輔, 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.
- 13) TRIMVEC-PLUS : GPS Survey Software User's Manual and Technical Reference Guide, Revision D1 : Trimbl Navigation Ltd., 1991.
- 14) 岡田吉春, 佐田達典, 高田知典：魚眼レンズを用いたGPS適地選定方法, 土木学会第48回年次学術講演会講演概要(第IV部門), pp.182-183, 1993.
- 15) 中川浩平：レンズ設計工学, 第6章, 東海大学出版会
- 16) ニコン：フィッシュアイニッコール8mmF2.8 ユーザーズマニュアル, 1992.

(1994.8.26 受付)

SELECTION OF OPTIMAL PERIODS OF TIME FOR GPS SURVEYING BASED ON A SKY-PHOTOGRAPH TAKEN WITH A FISH-EYE LENS

Shunsuke SAKURAI, Ikuo KAWASHIMA, Yuichi YAMANOE
and Shinichi AKUTAGAWA

When applying the GPS for conventional surveying, we often encounter a serious problem, that is, the transmission waves from satellites are often disturbed by structures like buildings standings near measuring points. Thus, the measurements cannot always be possible under a condition with a sufficient number of satellites. In order to overcome this difficulty, a survey planning system capable of predicting a proper period of time for GPS surveying has been developed in this study. In this method, any obstacle caused by existing buildings can be assessed at each measuring point by taking a photograph of a sky by a camera loaded with a fish-eye lens.