

## SURVEY COMPARISON USING GNSS AND ME5000 FOR ONE KILOMETER RANGE

Sakuo Matsui, Hiroaki Kimura

RIKEN, Kouto, Sayo-cho, Sayo-gun, Hyogo, 679-5148 JAPAN

### Abstract

The accuracy 1mm of GNSS is possible by averaging one day for 1km range. The measurement fluctuations of receiver were almost same which distances were 1m to 1 km. The measurement comparison of distance using Mekometer ME5000 and GNSS were done for 200m up to 1km. The differences were 0.0 to 0.3mm. The influence due to weather conditions was negligible although the wavelength is sensitive to the water vapor pressure. Eight survey monuments were made around the SPring-8 storage ring for the construction at seventeen years ago. These monuments were surveyed again using GNSS. The three monuments are shifted. The displacements are 15, 5, and 5mm.

### GNSSによる1km程度での干渉測位の精度—光学距離計ME5000 との比較—

#### 1. はじめに

GNSS(Global Navigation Satellite System)に使われている衛星の数はGPS 24個(6軌道各4個)以上、GLONASSは現在10個程度で、今後ヨーロッパのGALILEOが加わる。また携帯電話の普及に見られるようにRFの技術は大きく進歩してきている。このような状況から今後GNSSは精密測量に用いられると考えられる。そこで測定値の変動を調べ、また精度の見積もりにレーザー距離計Kern ME5000と比較測定を行った。さらにSPring-8では蓄積リング建設時に設置した基準点が現在互いにはず通常の測量は困難なのでGNSSで17年間の移動を測定した。時間をかければ精度1mm程度ならば将来の大型加速器の基準点測量に使用の可能性がでてくる。

#### 2. 干渉測位

GNSSの測位で2台の受信機で一つの衛星からの電波の位相差を測定する方法を干渉測位と言う。今回は狭い範囲で相対位置さえ正確に測れば良いのでこの方法を用いる。実際には2個の衛星からの電波を2台の受信機で受け受信機間の時計の差を補正し2台の衛星の各ペアが解析データとなる。データはそれぞれの受信機内のカードに記録されオフラインで解析する。搬送波の周波数は1.2~1.6GHzなので波長は200mm程度となり位相差0.2度が距離は0.1mmに対応する。(Topcon NetG3のスペックにcarrier phase precision 0.1mmとある。)

衛星の周期は12時間程度だが地球の回転を考えると約1日で衛星の位置が再現するので測定時間は1日とした。マイクロウェーブは可視光と異なり水分の影響は大きい。300K付近では水蒸気圧10hPaの変化は屈折率40ppmの変化になる。しかし大気圏での屈折は上空10~40kmと見られ測定範囲が1km程度であれば気象は同等とみなせるので図1のように屈折があっても位相差から求めた距離は $l_u = l_d$ となると考えられる。(大気補正はNiell(2005)model使用)

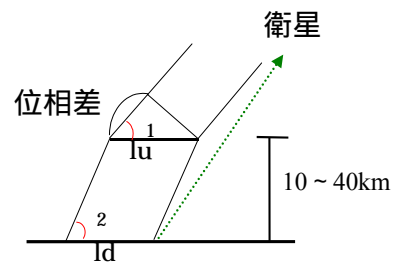


図1. 大気圏による屈折

#### 3. 測定

##### 3.1 測定器

受信機はNET G3、カタログ仕様は精度水平3mm+0.5ppm×距離、垂直5mm+0.5ppm×距離、アンテナはG3-A1、解析ソフトは「Pinnacle」いずれもTopcon製で、バッテリー駆動でデータは512MBのCFカードに記録した。サンプリング周波数は主に1Hzで、1台を基準にし6時間連続記録でもう一台は1時間ごとにファイルをつくる形式で測定を行った。垂直方向はレベルN3などでつないでいけるので今回は水平方向のみの解析にとどめた。

##### 3.2 衛星のマスク角

水平から数度以上の仰角に障害物がない見通しの良いところで受信機を約1m離し1日測定を行った(図2)。水平から5度以上上の衛星からの電波を記録するように設定しておき、解析時に使う衛星の角度を変えて2点間の距離のデータのrms値を求めた。10~25°で大きな変化は無いで通常15°で解析した。(図3)



図2 GPSアンテナ

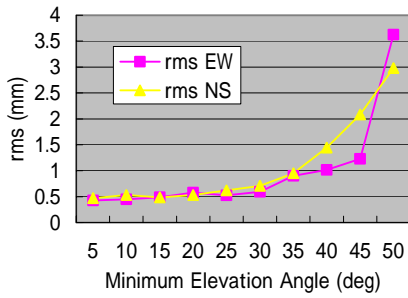


図3．仰角マスク角とrms値

### 3.3 アンテナのオフセット

アンテナ受信点と軸中心とのずれを測定するため2台のアンテナで一方を90度ずつ回転し各状態で1日測定した。測定値は東西、南北各 $\pm 0.5\text{mm}$ の中でばらつきオフセット値は測定誤差より小さかった。

### 3.4 測定距離と測定値の変動

1Hz 1日のデータを解析し1秒ごとのアンテナ距離(0.9m)と衛星の数を図4上左で1日分、上右で最初の1時間を示す。2~3分でも5mm程度変化している時もある。さらに距離を100m、1kmと変えて2分みても変動の幅はあまり変わらない(図4下左、右)。つまり受信機のノイズなど含めた1回の測定のばらつきが3mmほどあることを示している。また1mでも1kmでも差が無いところから1kmの距離による影響は測定のエラーの中に入る程度と見積られる。ただ、どの場合も1時間毎に平均した値はほぼ $\pm 1\text{mm}$ 内に入った。

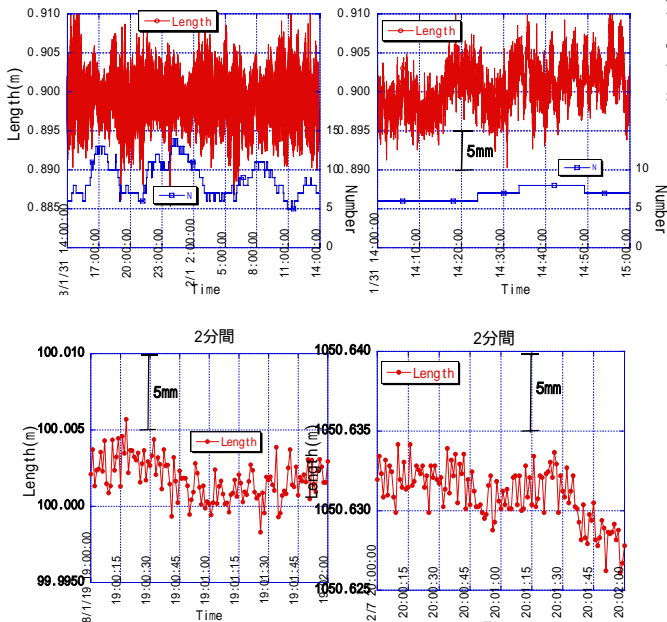


図4．測定値の変動(上、0.9m、下左100、右1km)

### 3.5 マスク角と最終結果

通常15°で解析を行うが、SR9-SR4の南北間距離を角度を変化させ解析した結果を図5に示す。1時間程度では角度により結果が異なってくるが1日平均すると10~25°で差は0.1mmにとどまる。

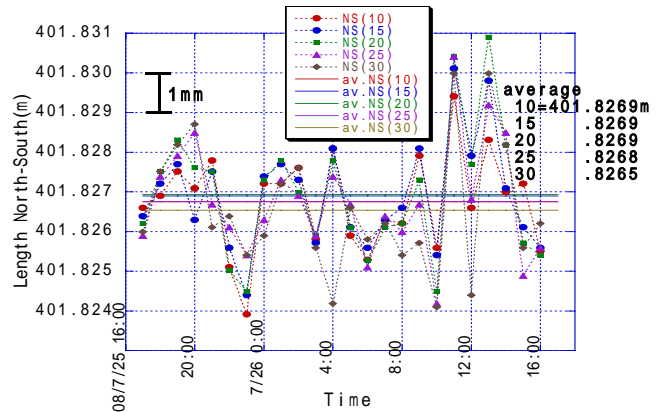


図5．仰角マスク角による解析結果の変化

### 3.6 サンプル周波数と最終結果

この受信機は10Hzまで(オプションで20Hz)測定できる。図6左に10Hzで10秒間、1分間、1Hzで1分間の各平均値を示した。10秒間でもゆらいている事がわかる。しかし1分間の平均値になると1Hzと10Hzであまり差は無い。さらに1秒、15秒、60秒間隔でデータをサンプリングし1時間ごとに平均した結果を示す。1日平均では600mの距離で差は0.1mm以内であった。rms値は図のようにサンプリングの間隔とともに大きくなっているがデータの数それぞれ86400、5760、1440個と多いために最終値はほとんど変わらないことを示している。

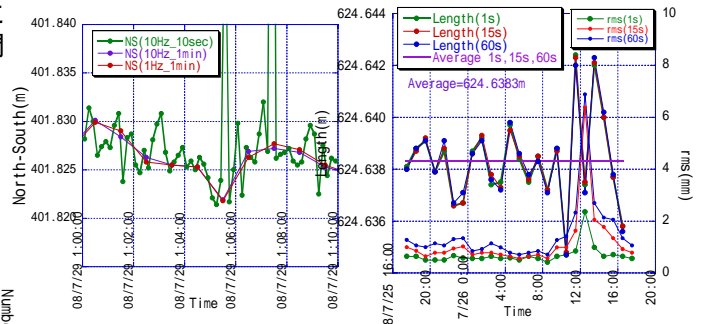


図6 サンプル間隔と平均値

### 3.7 雨などの影響

雨や雷の時は値のばらつきが大きくなるので長時間測定の場合は注意が必要である。

## 4．距離測定比較

### 4.1 距離100~670m

XFEL建設中の建物に沿って100m間隔で5箇所地盤変化測定用のモニユメントを設置した。そこにレーザー距離計ME5000(精度0.2mm+距離 $\times 0.2\text{ppm}$ )の測定器とターゲットを設置し距離を測定し気温、気圧の補正を

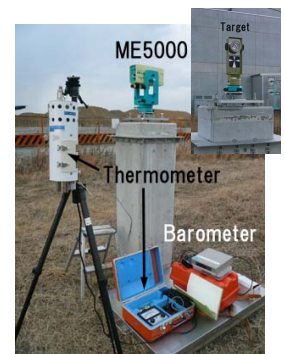


図7. ME5000による測定

行い距離を求めた(図7)。測定器をGPSのアンテナに置換え一箇所に約1日をかけ測定した。結果を比べると0.3mm以内で一致している。(表1)

表1 ME5000とGPS距離測定の比較

距離(m)	GPS(m)1day	ME5000(m)	差(mm)
200	200.0049	200.0049	0.0
300	300.0061	300.0060	0.1
400	400.0025	400.0028	-0.3
670	670.8335	670.8337	-0.2

#### 4.2 距離1km

Spring8サイト内で1000m直線が見通せる2点に三脚を設置し2つの方法で距離を測定した。図8に示すようにGPSの大気補正後の値を1日平均すると差は0.1mmであった。

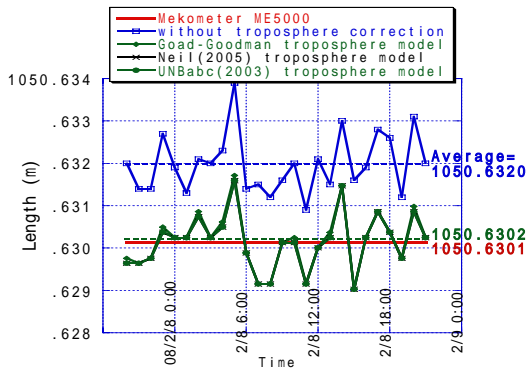


図8. 1kmGPSとME5000の測定比較

### 5. 基準点のシフト測定

#### 5.1 17年前の測量

蓄積リングの建物、電磁石のアライメントのためにまだ見通しがきく時期にセオドライトT3000と距離計ME5000を用い基準点SR1~SR10や偏向電磁石の位置に設置した Monument 20箇所を誤差楕円1mm以下で測量した。

#### 5.2 GPS測量

SR9に設置したGPSを基準にSR1、2、3、4、6、7、10にも設置し各箇所ほぼ1日かけて測定した。三脚にはXYステージを取り

付けて鉛直器NLを用いて調整した。17年前の測量は南北がはつきりしていなかったので得られた結果をSR9を重ね、移動の可能性の小さいSR2、SR3が重なるように回転した。結果は表2のようにSR1が15mm程度南にSR4、SR6が4~

表2. 17年間の基準点移動

(mm)	EW	NS	シフト
SR1	6.7	-12.9	14.5
SR2	0.9	0.0	0.9
SR3	0.7	0.3	0.8
SR4	4.4	0.9	4.5
SR6	2.1	-4.2	4.7
SR7	1.4	1.1	1.8
SR9	0.0	0.0	0.0
SR10	0.6	-1.2	1.3

5mm程度移動しているように見える。SR1は盛土の上でかつすぐ南が道路であったため移動しやすかったと考えられる。SR6は整地前にリング棟との間に深さ数mの窪みがあり不安定な場所と考えられる。SR4は北北東に傾斜するのり面上に設置してあり移動方向はうなずける。(図9,10)

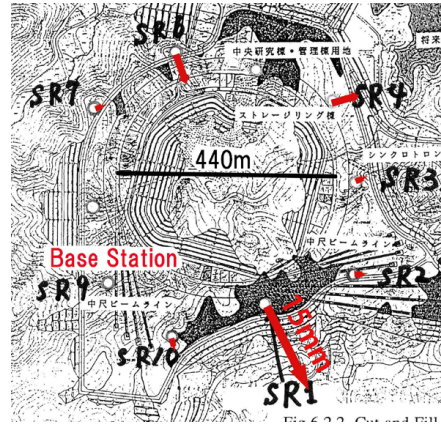


図9. SR基準点の17年間のシフト

#### 5.3 光学測量による確認

あまり移動していないように見えるSR2と3を基準にSR4の角度をセオドライトT3000で、SR3-4の距離をME5000で測定した。結果は表3のようにGPS測量の結果を再現していた。

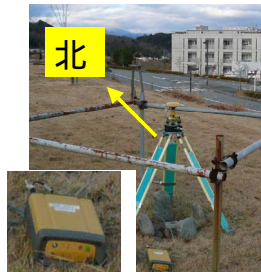


図10.受信機とSR4

表3 光学測量によるチェック

	SR2-SR3-SR4 角度	SR3-SR4 水平距離
測量器	T3000	ME5000
17年前	168.05535°	193.1476m
今回	168.05641°	193.1490
変化	0.00106°= 3.6mm東へ	1.4 mm 北へ

### 6. まとめ

1 km程度の範囲内であれば雨などの時でない限り気象の影響は無視できる。

ノイズも含めた1回の測定精度は揺らぎの大きさから1回3mm程度ありアンテナ間距離が1mでも1kmでも変わらなかった。

GPS干渉測位で1mm程度の精度が可能である。ただし変動があるので1時間の測定では難しい。1日の平均をとるのが良い。

固定点の測量ではサンプリングレートを1Hz以上にあげてもあまり意味は無い。1日平均では15秒間隔でも60秒間隔でも大きな差はない。

距離計ME5000との距離比較で200m~1kmで0.3mm以内で一致した。

17年の間に基準点SR1~SR10の中で盛り土上のSR1は南東に15mm、不安定な場所にあるSR4とSR6は4mm程度移動しているように見える。

SR4は光学的にもチェックし移動を確かめた。