

IV-306 人工衛星GPS による精密定点測位法

大成建設株式会社 正会員 神崎 正

大成建設株式会社 正会員 西沢 修一 ○

大成建設株式会社 正会員 戸井田 博

1. はじめに

鉄道、ダム、トンネル、長大吊橋などの大規模工事では、構造物位置決定などの基準点測量は10 km前後の広範囲に及び、多大な労力と時間を費やしている。

また、トータルステーション等を用いた従来測量法は、基準点間の全方向の計測ができないことや気象補正が完全にできないなどの理由で、精度上のいくつかの問題がある。

そこで、米国の汎地球測位システムGPS(Global Positioning System)を利用し、実用化の検討や実験を通じて定量的に測定精度を把握し、GPS精密測位法を確立した。

本稿では、GPS精密測位の原理と実用化のための各種実験について報告するものである。

2. 搬送波位相を使用した高精度測位の原理

GPS衛星からはL1, L2の2搬送波が送信され、これにC/AおよびPコード信号をのせている。4衛星からコード情報を受信して絶対座標を求める方法がGPSの本来の使用法である。

しかし、この方法では観測での共通誤差が除去できず、精度は30m前後である。従って、複数台の受信機でGPS衛星からの搬送波の位相を測定する相対測位方式の実用化が大きな課題であった。この課題を解決することが誤差要因を効果的に除く重要なポイントであった。

測定誤差の主な要因として、①衛星時計誤差、②受信機時計誤差、③電離層や大気による電波伝搬遅延誤差がある。そこで、同一衛星からの搬送波位相を2つの受信機で受信してその位相差を求め、2衛星より各々求めたこの2つの位相差をとる二重差によって、これらの誤差の除去が可能である。二重位相差の関係を数式にすると、次のようになる。

受信機 $i(i=1, 2)$ における受信位相 $\phi_i(t)$ は以下となる。

$$\phi_i(t) = \omega_0 \left(t - \frac{\rho_i(t)}{c} - t_{pi} \right) + \phi_0 + \phi_i$$

ここで、受信機1, 2の位相差($\Delta\phi_{12}$)は、以下となる。

$$\Delta\phi_{12} = \omega_0(\Delta t_1 - \Delta t_2) - \omega_0(t_{p1} - t_{p2}) + \phi_1 - \phi_2 + \frac{\omega_0}{c}(\rho_1(t) - \rho_2(t) + \dot{\rho}_1(t)\Delta t_1 - \dot{\rho}_2(t)\Delta t_2)$$

2 GPS衛星(i, j)に対する2つの位相差($\Delta\phi_{12}^i, \Delta\phi_{12}^j$)の差(二重位相差)をとると、以下の結果を得る。

$$\Delta\phi_{12}^i - \Delta\phi_{12}^j = -\omega_0(t_{p1}^i - t_{p2}^i) + \frac{\omega_0}{c}(\rho_1^i - \rho_2^i) + \omega_0(t_{p1}^j - t_{p2}^j) - \frac{\omega_0}{c}(\rho_1^j - \rho_2^j)$$

ω_0 : 角周波数($2\pi \times$ 周波数)

ϕ_0 : $t=0$ における衛星の信号位相

Δt_i : 受信機 i の時計誤差

$\dot{\rho}_i(t)$: $\rho_i(t)$ の時間変化率

$\rho_i(t)$: 時刻 t での衛星から受信機 i までの距離

t_{pi} : 時刻 t での衛星から受信機 i まで伝搬遅延時間

ϕ_i : 受信機での局内遅延

c : 光速

この様に、時計誤差 $\omega_0(\Delta t_1 - \Delta t_2)$ と局内遅延誤差($\phi_1 - \phi_2$)は消去される。また、 $(\dot{\rho}_1\Delta t_1)(\dot{\rho}_2\Delta t_2)$ は微少で無視できる。従って、二重差の処理は3次元高精度測位に不可欠である。こうして得られた測位データはWGS-84系であるため、変換プログラムを開発して日本測地系座標を算定している。

3. 実験観測及び解析

3.1 実験の目的

G P S精密測位法の実用化にとって、観測に大きく影響する下記の3点の基本的課題解決が不可欠であり、それを明らかにすることが実験の大きな目的と考えた。

- ① 測点間距離 ② 衛星の配置と個数 ③ 観測時間

3.2 データ解析の方法

基線解析の方法は、以下の手順で実施した。

- ① 各観測点で受信した搬送波位相データのコンピュータへの転送。
- ② 各観測点に対する、概略位置の仮定と、観測値との残差の算出。
- ③ 搬送波位相測定値より、大きなサイクルスリップの修正。
- ④ 二重差の処理と、サイクルスリップの修正。
- ⑤ 最小自乗解を用いた、繰り返し計算による整数値バイアスの確定。

4. 解析結果

解析の実施及びまとめに際しては、実験目的を達成するため、基線データを8 km以上、3 ～ 8 km、3 km以下の3つに区分した。

(1) 中・長基線

3 km以上の基線解析にて、F I X解を得るための観測時間の調査では、基線長の長さの違いなどの差異よりも、特定時間以上観測することが決定条件となっていた。例えば衛星の数と、配置状況の善し悪しを示すP-DOP（衛星配置による測定精度低下率）との関係でも、表-1のように、衛星数、P-DOPとも一番条件の良い第2回観測では一定時間内で1/3しかF I X解が得られず、最も条件の悪い第3回で3基線全部が求まった。

(2) 短基線

3 km以下の基線解析結果より、中・長基線に比べて、衛星配置状況は同じでも観測時間の大幅な短縮でF I X解は求まった。P-DOPよりも、むしろ衛星数が観測時間決定に大きく影響していた。

表-1 F I X 解決定状況

		第1回	第2回	第3回
衛星数 Max ～Min		6 ～ 4 個	7 ～ 5 個	5 ～ 4 個
P-Dop Min. ～Max. 平 均		2.5 ～ 5.4 4.0	2.0 ～ 3.0 2.5	2.5 ～ 4.5 3.5
Fix 解 の得ら れた基 線数	長(3 線本)	2 本	1 本	3 本
	中(6 線本)	4 本	5 本	6 本

5. あとがき

ここで紹介した一連のG P Sの実用化実験を通じて、観測方法と測点間距離、衛星配置、観測時間などに関する基本的な問題点について、定量的な説明を行った。

さらにこの解析結果に基づき、G P S精密測位法の標準化を行い、すでにリニア九鬼トンネル工事など3ヶ所のトンネル基準点測量で実用化を図っており、ミリ単位での測量精度を実証している。

参考文献

Proceedings of First International Symposium on Precise Positioning with the Global Positioning System, Positioning with GPS-1985, Volume I and II, Rockville Maryland, April 15-19, 1985.