

GPS 変位計測の精度向上を目指した対流圏伝搬遅延補正の妥当性の検証

山口大学大学院 学生会員 ○田村尚之 宇野豊

古野電気（株）正会員 増成友宏 武地美明

山口大学大学院 正会員 清水則一 船津貴弘

1. はじめに

GPSを用いた地盤変位計測は、課題であった精度とコストについて大きく改善され、斜面の安全監視だけでなくその用途が広がりつつある。誤差のうちランダムな計測誤差については、統計的な処理法であるトレンドモデルを用いることによって真の値を精度よく推定することが可能である¹⁾。一方、系統的な誤差は原因を特定して補正することが望ましい。

本研究は、対流圏の気象による誤差についてその補正方法を検討する。対流圏では、水蒸気圧が電波の伝播経路（伝播距離）にもっとも影響を及ぼすものと考えられているが、水蒸気圧を直接計測することは難しい。そのため、水蒸気圧の推定、伝播距離の評価について、Modified Hopfield²⁾のモデル式を適用して補正を行い、その妥当性を検討する。

2. GPS 変位計測システム³⁾

変位計測システムは、基準点と各計測点にアンテナと受信機をそれぞれ設置し、ケーブルによって連結され、通信集約ユニットに接続している。通信集約ユニットに蓄積された計測データは電話回線を通して研究室にあるパソコンが自動的に収集し、解析を行うようになっている。本研究では、実際に西津黄地すべり地区に適用し現場計測を行っている。

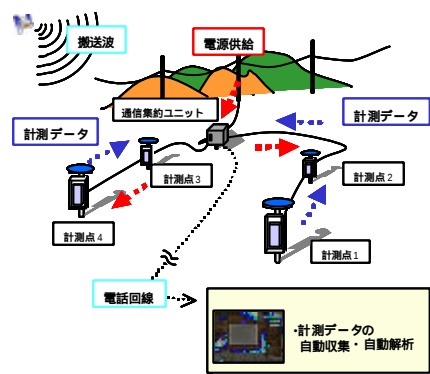


図1 GPS 変位計測システム

3. 計測点間に標高差のある場合の対流圏遅延補正

(1) 対流圏の影響による伝搬遅延について

GPSの電波は、対流圏（乾燥空気と水蒸気）を通過することにより屈折が起き、電波の伝搬遅延が生じる。対流圏の影響による伝搬遅延は、短基線（10km以下）の場合においては相殺効果が働くので問題ない。これは、受信機間においてこれらの遅延が同一であれば、両者の相対座標を求めるため相殺されるからである。しかし、短基線の場合でも受信機間に標高差がある場合には、対流圏による伝搬遅延量は相殺されず計測結果の誤差要因となる（図2参照）。対流圏による伝搬遅延は、気温、湿度、気圧に影響するが、気象による補正は困難とされている²⁾。

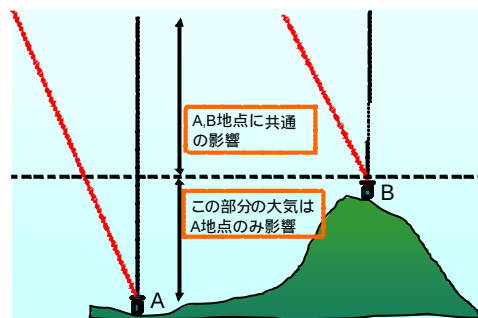


図2 計測点間に標高差がある場合の計測

本研究では、対流圏の影響による伝搬遅延補正を、計測点間に標高差のある地すべり斜面に適用する。対流圏の伝搬遅延補正に用いる気象データは、現場から近い気象庁の気象データを用いる。萩測候所と地すべり斜面の位置関係を図3に示す。計測現場の基準点（4005）と計測点（4002）の標高差は約160mである。（図4参照）



図3 萩測候所と計測現場の位置関係



図4 計測点の位置関係

キーワード GPS, 対流圏補正, 斜面, 気象, Modified Hopfield

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台2丁目16番1号 山口大学工学部社会建設工学科 TEL0836-85-9334

(2) 対流圏伝搬モデル²⁾

対流圏の伝搬遅延 N^{Trop} は次式で定義される．

$$\Delta^{Trop} = 10^{-6} \int N^{Trop} ds \quad (1)$$

ここで， N^{Trop} ：対流圏による屈折指数

(refractivity) S ：伝搬距離

積分は伝搬経路に沿って行われる． N^{Trop} は，dry項と wet 項とに分離できる．なお，dry 項は気圧に依存し，wet 項は温度と湿度に依存する．電波遅延モデルとして，地上での気象データを考慮した Modified Hopfield²⁾ のモデル式が提案されている．その式を以下に示す．

$$\Delta_i^{Trop}(z) = \frac{10^{-6} N_{i,0}^{Trop}}{(r_i - R_E)^4} \int_{r=R_E}^{r=r_i} \frac{r(r_i - r)^4}{\sqrt{r^2 - R_E^2 \sin^2 z_0}} dr \quad (2)$$

R_E ：地球半径， z ：天頂角

$i=d$ のとき dry 項， $i=w$ のとき wet 項の遅延量となる．

(3) 長期間（年周期）の対流圏の伝搬遅延補正

GPS 計測において，緯度，経度の伝搬遅延は，東西南北，各方向の衛星の伝搬遅延が相互作用しており，ある程度の相殺がなされるので影響が少ない．しかし高さ方向は，影響が出やすい．よって高さ方向の補正結果について検討する．図5に，萩測候所の約1年間の気象データ（2004年10月16日～2005年12月）を示す．この図から，気温，水蒸気圧に年周期の変化があることが分かる．図6に補正前と Modified Hopfield モデルを用いた場合の高さ方向の計測値および平滑化の結果を示す．図5と図6から，補正前の変位計測結果は，夏季において，気温や水蒸気圧に非常に良く似た変動があり，計測値と気象に相関関係があると考えられる．図6から補正前と気象データを考慮した Modified Hopfield モデルの結果を比べると，夏季の変動がなくなり補正されていることがわかる．

4. むすび

安全監視においては，高精度の変位計測が必要となり，対流圏による伝搬遅延は大きな変位誤差となる．GPS 変位計測結果の年周変化を，気象データを用いることにより補正できることを示した．このことから，気象条件に影響を受けることの少ない，安定した長期計測が可能となる．

参考文献

- 1) 松田浩朗，安立寛，西村好恵，清水則一：GPS による斜面変位計測結果の平滑化処理と変位挙動予測手法の実用性の検証．土木学会論文集．No.715/ -60，pp.333-343，2002
- 2) Bernhard Hofmann-Wellenhof，Herbert Lichtenegger，James Collins：GPS 理論と応用（訳：西修二郎），シュプリンガー・フェアラーク東京株式会社，pp.122-133,2005．
- 3) T.Masunari,et.al.：GPS Continuous Displacement Monitoring System,Int.Sympo.Field Measurements in Geomechanics,FMGM03,pp.537-543,2003.9

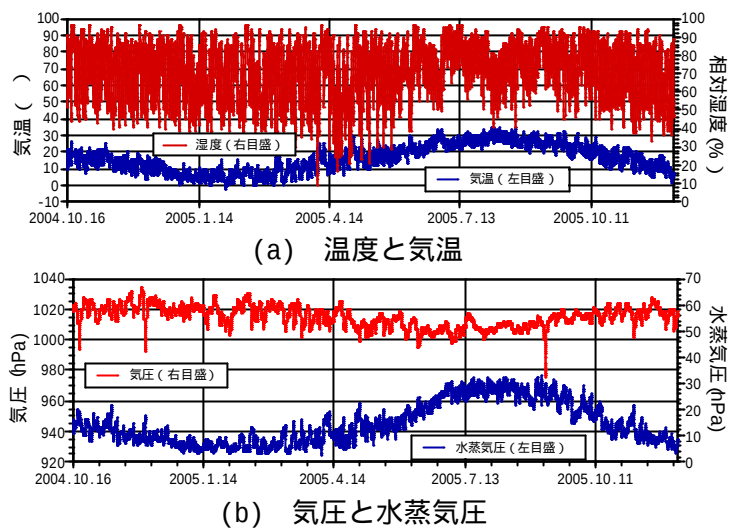


図5 萩測候所気象データ

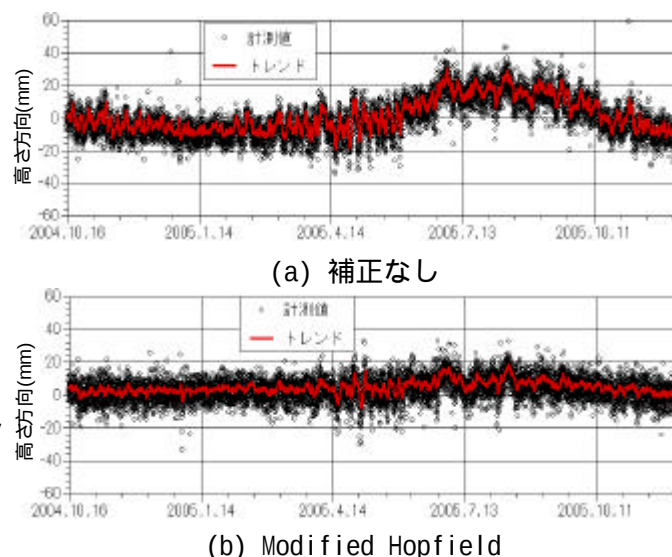


図6 補正の適用結果
(基線長 979m 高低差 166m)