

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 (その2)

山口大学大学院 学生会員 ○于萌萌 田村尚之
山口大学大学院 正会員 清水則一 船津貴弘
古野電気(株) 正会員 増成友宏 武智美明

1. 背景と目的

本研究ではGPSを用いて地盤の変位を高精度に計測することを研究しており、対流圏の影響による誤差(大気遅延)は、既往の研究により Modified Hopfield のモデル式で補されることが明らかになった。しかし補正に使用した気象データは計測現場から約30km離れた萩測候所(図-1参照)で計測されたものを使用しており、年周期の変動は除去できたが、短期間の変動は十分に除去することが出来なかった。そこで本研究では計測現場に温湿度計を設置し、計測現場で計測した気象データを用いて補正を適用することにより短期間の変動を除去出来るかを検討する。

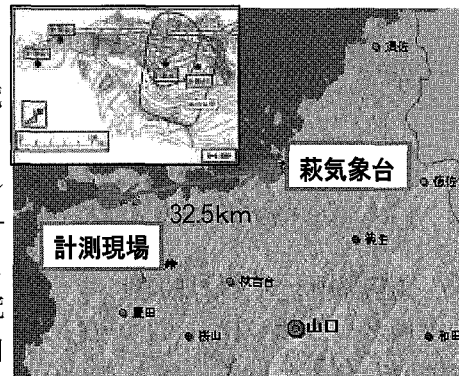


図-1 計測現場と萩気象台の位置

2. GPS 変位計測システム

図-2に示すように、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。このシステムは、従来のシステムに比べ、任意の時間にデータを自動回収及び、自動解析できるため、斜面の安全管理においてほぼリアルタイムに結果が確認できる。また、解析結果を集中管理できる利点がある。本システムを山口県長門市西津黄地すべり地区に適用し現場計測を行った。また、計測現場で気象データを収集するために温湿度計設置した。その設置状況を図-3に示す。同図が示すようにGPS受信機の近くに置いた百葉箱の中に温湿度計を設置した。

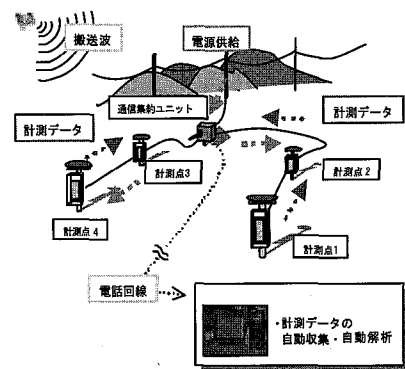


図-2 GPS 変位計測システム

3. 対流圏の影響とその補正について

(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、図-4に示すように短基線の場合でも受信機間に標高差がある場合には、標高の低い受信機では衛星からの電波は、標高差分の厚さだけ余分に大気層を通過してくる。その余分の大気層の通過により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。西津黄地区での計測の場合、図-5に示すように計測点と基準点の標高差が約160mあるため標高差分の厚さの大気層による伝播遅延が加わり、大きな誤差となる可能性があった。この大気層による伝搬遅延は気温、気圧、

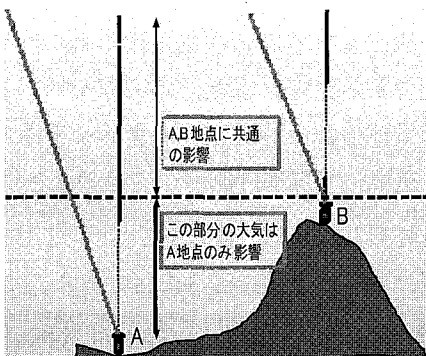


図-4 標高差がある場合の計測

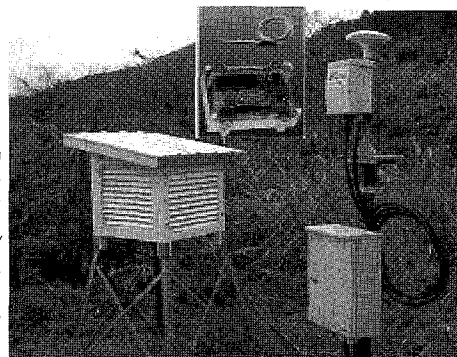


図-3 計測現場に設置した温湿度計

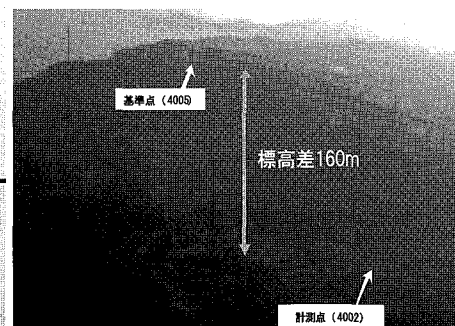


図-5 計測点の位置関係

湿度に依存するのでこの伝搬遅延を補正して計測の誤差を取り除くためには先述の気象データが必要となる。また、補正するためには対流圏による伝搬遅延を推定する必要がある、既往の研究で有用であることが確認されている Modified Hopfield の式を用いる。Modified Hopfield の式は次式であらわされる²⁾。

$$\Delta R_{m, hop} = 10^{-6} \int N_{dry} ds + 10^{-6} \int N_{wet} ds \quad (1)$$

$$N_{dry} = N_{d,0} \left(1 - \frac{h}{h_d}\right)^4 \quad N_{wet} = N_{w,0} \left(1 - \frac{h}{h_w}\right)^4$$

$$N_{d,0} = \frac{77.64 P}{T} \quad N_{w,0} = \frac{0.373 \times 10^6 e}{T^2}$$

$$h_d = 40136 + 148.72 (T - 273.16)$$

$$e = 6.108 \left(\frac{RH}{100}\right) \exp\left\{\frac{(17.15 T - 4684)}{(T - 38.45)}\right\}$$

ここで、 h_d : 乾燥大気の高さ (約 43km) h_w : 水蒸気の高さ (約 11km), h : 大気の高さ P : 気圧 (hPa), T : 絶対温度 (K), e : 水蒸気圧 (hPa), RH : 相対湿度 (%) Modified Hopfield の式は、大気の屈折率は地上からの高さにより決まる四次関数として、大気圧 P の項と大気中の水蒸気圧 e の項及び大気の高さ h の関数としたものである。

(2) 気象データと補正結果について

図-6は現地で収集された気象のデータを示している。このデータを用いて前節で示した式で対流圏伝搬遅延補正を行った。図-7には高さ方向の変位計測結果を示す。同図では上から気象補正をしていない場合、現場から32.5km離れた萩の測候所のデータを使用した場合、現地で収集した気象データを使用した場合の結果を示している。同図より補正をしていない場合には夏場に地盤が盛り上がるような変位を示している。これは図-6(c)で示した水蒸気圧の計測結果とよく似ており、気象の影響によるものと思われる。また、この夏場の変位は萩の気象データを使用した補正により取り除くことができている。しかしながら萩の気象データによる補正では短期間の補正ができておらず、平滑化線が波を打ったように振動している。一方、現地の気象データで補正することによって、夏場の変位はもちろんのこと短期間の波打ちをも除去しており、平滑化線は滑らかなものになっている。図-8は図-7で示した計測値に対してフーリエスペクトルを算出したものであるが、同図からも現地の気象データで補正をすることで計測結果の修正を除去できていることが確認できる。

5. 結論

地すべり変位計測現場において、対流圏による伝搬遅延は大きな変位誤差となる。計測現場で観測した気象データをもちいて補正することにより短期間の周期的な変動を除去することができた。

参考文献

- 1) 田村尚之ら: GPS変位計測の精度向上を目指した対流圏遅延補正の妥当性の検証, 2006年土木学会年次学術講演会講演概要集 (CD-ROM)
- 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, 2005
- 3) 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/ III -60, pp.333-343, 2002

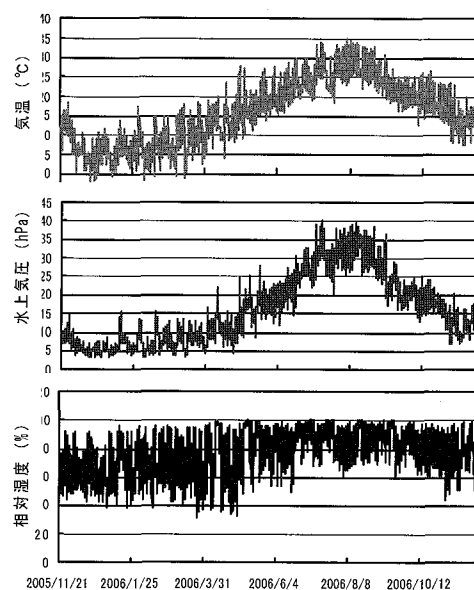


図-6 現地で収集された気象データ

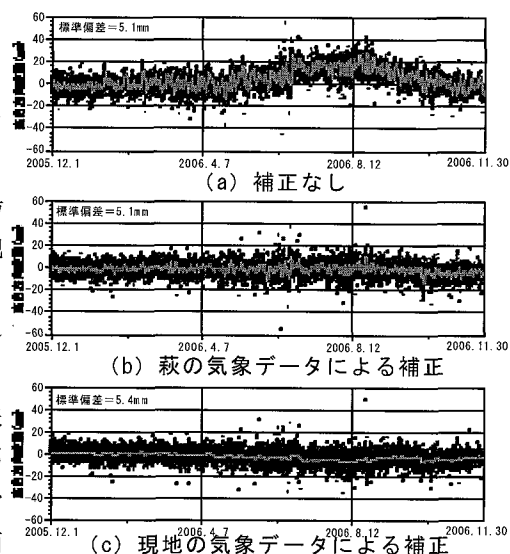


図-7 補正の適用結果

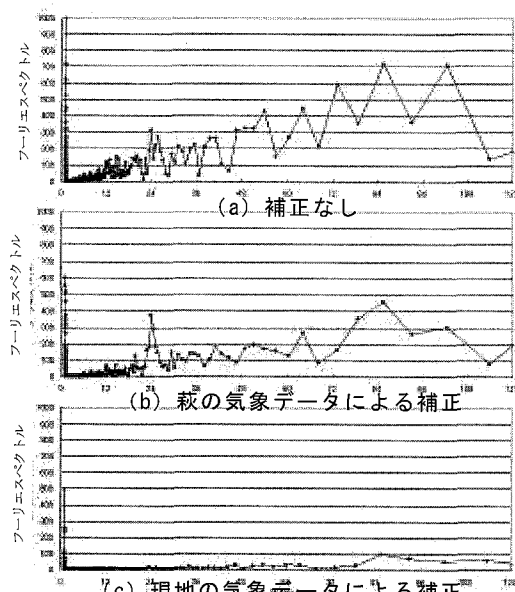


図-8 短期間 補正の適用結果