

高低差の大きい斜面における GPS 変位計測と大気遅延補正の効果

山口大学大学院 学 難波辰弥 平林憲
 山口大学大学院 正 中島伸一郎
 古野電気株式会社 正 増成友宏
 山口大学大学院 正 清水則一

1. はじめに

日本では地すべりや斜面崩壊が発生する可能性の高い地域が多く存在し、これらを防ぐためには斜面の安全監視が必要となる。GPS を用いた変位計測システムは連続計測、広範囲計測などの観点から斜面の安全監視に適しているが、高低差の大きい現場では電波の大気遅延による影響を受け計測結果に誤差が生じるといふ問題が指摘されている。本研究では、高低差の大きい斜面における GPS 変位計測結果に対して修正 Hopfield モデル¹⁾を用いた大気遅延補正を適用しその効果および高低差と大気遅延の関係について検証する。

2. 大気遅延と補正法²⁾

GPS 衛星から発射される電波は大気圏を通過するときに屈折するため、見かけの経路が長くなる。これを電波の大気遅延という。受信機間の距離および高低差の小さい通常の変位計測では、電波は同じ気象条件の大気中を伝播するため大気遅延は相殺される。しかし受信機間の高低差が大きいと、伝播経路長に有為な差が発生しその経路差分の大気遅延は相殺されないため、計測結果に誤差を生じる。大気遅延量を推定するモデルである修正 Hopfield モデルでは、大気遅延量は式(1)に示すように乾燥成分および湿潤成分の屈折指数を電波の伝播経路に沿って積分することで求められる。なお、大気遅延量の推定において、屈折率の変わりに屈折指数が用いられる。

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

$$\text{また, } N_{dry} = 77.64 \frac{P}{T} \left(\frac{h_d - h}{h_d} \right)^4, N_{wet} = \left(-12.96 \frac{e}{T} + 3.718 \times 10^5 \frac{e}{T^2} \right) \left(\frac{h_w - h}{h_w} \right)^4$$

ここで、 N_{dry} と N_{wet} はそれぞれ乾燥成分と湿潤成分の屈折指数、 h_d と h_w はそれぞれ乾燥大気と湿潤大気の高さ、 P は大気圧 (hPa)、 T は絶対温度 (K)、 e は水蒸気圧 (hPa) である。つまり、大気遅延量を推定するには計測現場における気象データが必要である。

3. 高低差の大きい斜面における GPS 変位計測結果と補正適用結果

基準点と計測点の高低差が最大で約 200m の斜面において行われた GPS 変位計測結果に対して、上述の大気遅延補正を適用した。本現場では斜面頂上に基準点を設置し、この基準点との高低差が表-1 となる 3 点に計測点を設置している。なお、高低差は図-1 のように定義する。

図-2 は各計測点での GPS 変位の高さ方向の経時変化であり、赤線が大気遅延補正を行っていない計測結果である。図より計測結果は、夏季にかけて隆起し秋季から冬季にかけて沈下する年周期的な変動を示し、斜面における挙動として不自然である。また、短い周期の変動も計測期間を通して見られる。さらに、計測結果に見られた変動量は高低差とともに大きくなっている。この計測結果に対して、修正 Hopfield モデルに

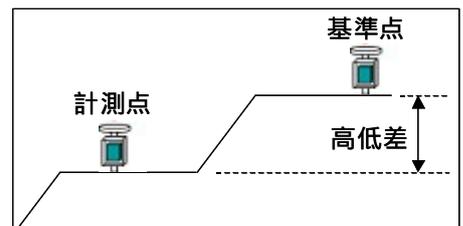


図-1 高低差の定義

表-1 基準点との高低差

計測点	1	2	3
高低差(m)	106	153	209

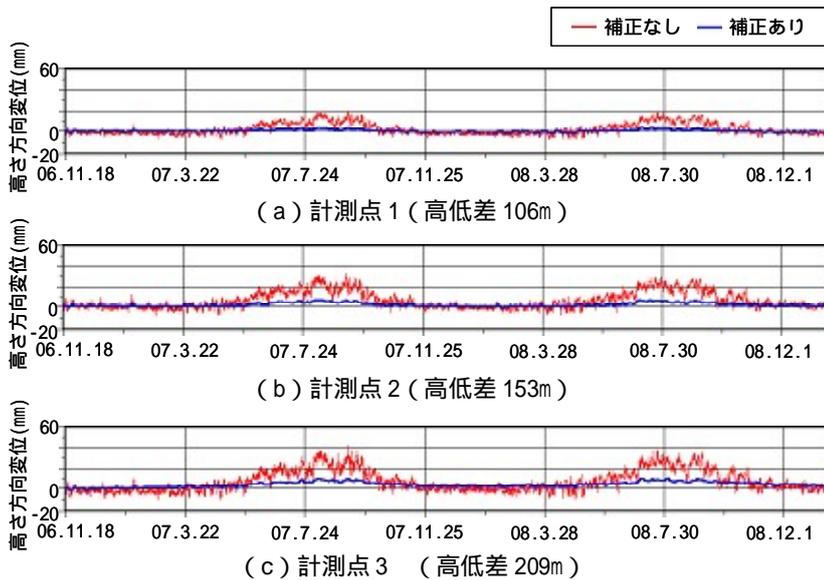


図-2 GPS 変位計測結果および大気遅延補正適用結果（高さ方向）

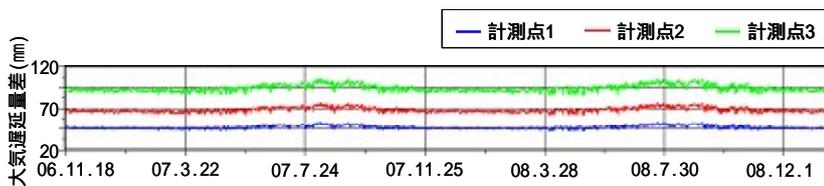


図-3 修正 Hopfield モデルから算出した大気遅延量差

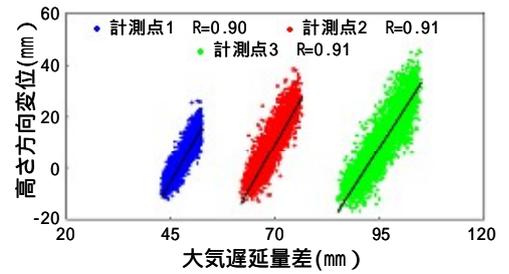


図-4 高さ方向変位と大気遅延量差の関係

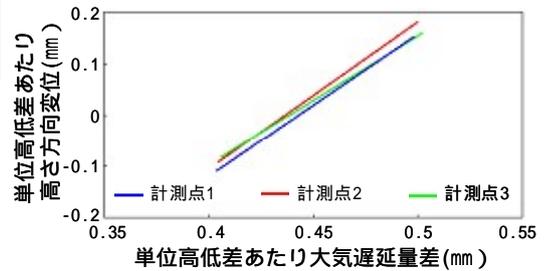


図-5 単位高低差あたりに換算した高さ方向変位と大気遅延量差の関係(回帰直線)

よる大気遅延補正を行った結果が図-2 の青線である。補正に際して、気象データは現場から約 7km 離れた測候所の値を用いた。

図-3 に計測点と基準点の大気遅延量の差を計測点ごとに示す。図より、計測結果同様、大気遅延量差にも夏季に盛り上がる年周期的な変動や短い周期の変動が見られる。ここで、高さ方向変位と大気遅延量差の関係を調べると、図-4 に示すように相関係数 R は約 0.9 となり両者は強い相関を示した。以上の結果から、計測結果に年周期的な変動や短い周期の変動が見られたのは大気遅延の影響が原因であったことを示すものであると考える。また、大気遅延補正によりその影響をほぼ除去できているといえる。図-4 において、回帰直線の傾きが計測点 1 から 2.8, 2.8, 2.5 と近い値であったことに注目し、高さ方向変位、大気遅延量差とともにそれぞれの高低差で除することにより単位高低差あたりに換算した。その回帰直線は図-5 に示すようにほぼ一致した。このことから、単位高低差あたりの大気遅延量差はほぼ等しく、高低差からこの値を推測することが可能であるといえる。

4. 結論

高低差の大きい斜面における GPS 変位計測結果に対して修正 Hopfield を用いた大気遅延補正を適用した。大気遅延補正を行っていない計測結果には夏季に隆起する年周期および短い周期の、斜面の挙動として不自然な変動が見られたが、大気遅延補正を適用することによってこれらの変動を小さくする効果があることを示した。また、全ての計測点において高さ方向変位と大気遅延量差には強い相関があり、単位高低差あたりに換算するとその回帰直線はほぼ一致することから単位高低差あたりの大気遅延量差はほぼ等しいことを示した。計測結果に見られた変動量は高低差とともに大きくなっているのはそのためである。

参考文献

- 1) Hoffman-Wellenhof, H., H. Lichtegger and J. Collins: GPS – Theory and Practice, Springer, 1993.
- 2) 増成友宏, 清水則一: GPS による地盤変位計測における気象の影響の補正方法の検討, 土木学会論文集 F, Vol.63, No.4, pp.437-447, 2007