

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

1. はじめに

GPS による変位計測は、広範囲の地盤変位を 3 次元に高精度で計測できるようになり¹⁾、斜面の安全監視だけでなく施工管理にも適用されている。一方、基準点と計測点の高低差の大きい場合、特に、初夏から秋にかけて高さ方向変位に大気遅延による誤差が生じることがある。さらなる高品質の計測を目指すには、この誤差に対する補正が必要となる。筆者らはすでに、地表付近の気象観測結果と修正 Hopfield モデル²⁾を用いることで、計測結果が大幅に改善されることを示している³⁾。本報告では、その大気遅延補正の適用事例と、補正効果の検証を行う。

2. 大気遅延誤差と補正法

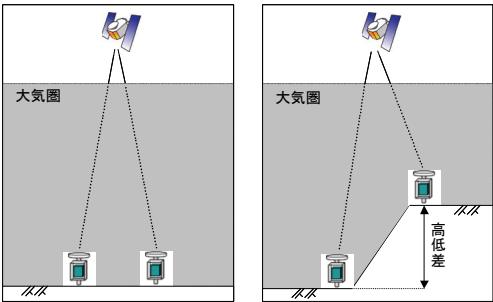
GPS 変位計測システムにおける電波の大気遅延とは、衛星から発信された電波が大気圏を通過する際に大気の影響を受けて屈折することで電波経路がみかけ上長くなる現象である。GPS 受信機間の高低差が小さい場合（図 1 (a)）、一般的に電波は同じ気象条件の大気を通過すると考えられるため、大気遅延による誤差はほぼ相殺される。一方で、高低差が大きい場合（図 1 (b)）では伝播経路長に違いがあり、その経路差分の大気遅延により計測結果に誤差が生じる。そのため、高低差分の気象条件を考慮する必要がある。本研究では、気象条件から大気遅延量を推定するモデルとして修正 Hopfield モデルを用いる。

3. 高低差が大きい現場における GPS 変位計測結果の補正

ここでは基準点と計測点の高低差が最大で約 180m の岩盤斜面における GPS 変位計測結果に修正 Hopfield モデルによる大気遅延補正を行った例を示す。本計測では、基準点を斜面頂上に計測点は斜面上に設置し（図 2）、高低差は表 1 に示すとおりである。

図 3 に示すのが計測点 1 での高さ方向変位の経時変化であり、補正適用前の計測結果である。計測結果は夏期に隆起している。これは斜面における変位挙動として不自然である。この要因として、本現場は受信機間の高低差が大きいため、電波の大気遅延による影響が考えられる。

図 4 は、計測点 1 における大気遅延量差（計測点-基準点間の高低差分の大気遅延量）を、地表面の気象データを用いて修正 Hopfield モデルにより算出した結果である。これより大気遅延量差は図 3 の高さ方向変位の計測結果とほぼ同様に夏期に盛り上がる変動を示している。また、計測点の高さ方向変位を縦軸、大気遅延量差を横軸とし相関を調べた結果を図 5 に示す。図より、高さ方向変位と大気遅延量差とは強い正の相関を示すことが分かる。つまり図 3 の夏期に隆起する変動は電波の大気遅延によるものと考えられる。そこで、修正 Hopfield モデルによる大気遅延補正を適用した結果を図 6 に示す。これを図 3 の補正適用前と比較すると、夏期の隆起が大幅に補正されていることが分かる。図 5 の両軸を各計測点と基準点との高低差で除し、単位高低差当り(1m)に



(a) 高低差が小さい 場合 (b) 高低差が大きい 場合
図 1 高低差による電波経路長の相違

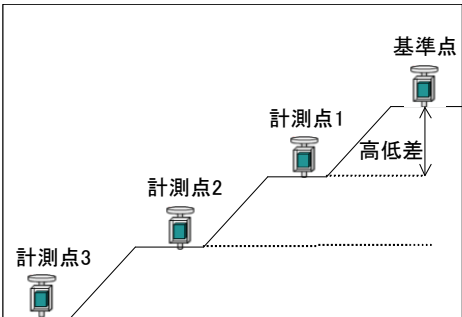


図 2 斜面の模式図

表 1 基準点との高低差

計測点	1	2	3
高低差(m)	106	148	183

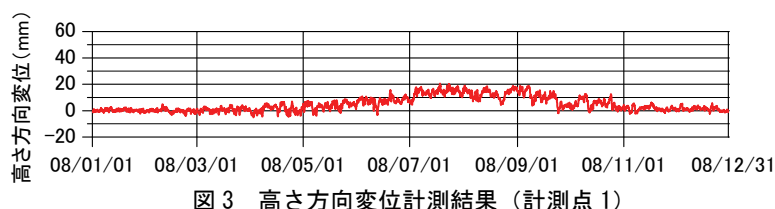


図3 高さ方向変位計測結果 (計測点1)

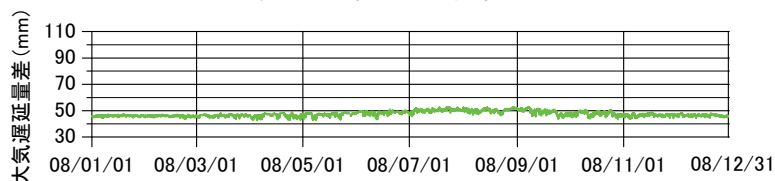


図4 修正 Hopfield モデルにより算出した計測点1と基準点との大気遅延量差

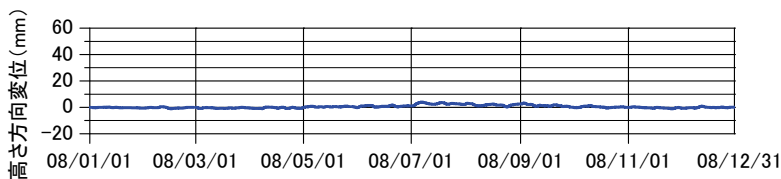


図6 修正 Hopfield モデルによる補正適用結果

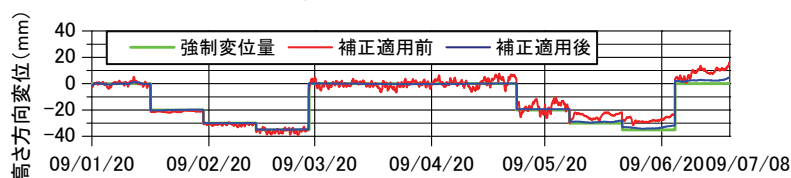


図8 変位実験期間 (計測点1)

換算した結果を図7に示す。いずれの計測点においても、高低差によらず同じ傾きになり、単位高低差当りの大気遅延量差はほぼ等しいことが分かる。

4. 補正効果の検証

補正による計測精度を調べるため、基準点に 20 mm、10 mm、5 mm と変位を与える実験を夏季・冬季の2回行った。図8にその期間の計測結果を示す。赤線は補正前、青線は補正後、緑線は実際に与えた変位量を表す。補正前に見られた計測結果の乱れが補正後では補正されており、実際の変位量をほぼ捉えている。実際の変位量と計測結果平均値の差を誤差とし、各計測点の冬期における誤差を図9に示す。(a)の補正前から、誤差は高低差に比例して大きくなるのが分かる。これに対し、(b)補正後では各計測点における誤差はほぼ0となっている。これらのことから、修正 Hopfield モデルを用いた大気遅延補正は有効であるといえる。

5. 結論

高低差が大きい斜面において GPS 変位計測結果には大気遅延による誤差が生じるが、修正 Hopfield モデルを用いることで適切に補正ができることが示された。

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法と変位計測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.
- 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.
- 3) 平林憲, 于萌萌, 清水則一, 小野雅和, 岩崎智治, 増成 友宏: 長大斜面における GPS 変位計測と大気遅延補正の効果, 第 38 回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, pp.157-161, 2010

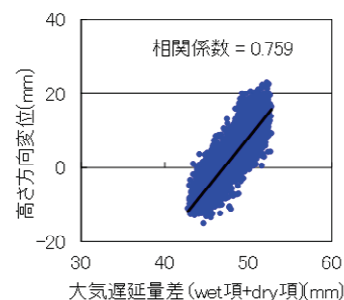


図5 高さ方向変位と大気遅延量差の関係

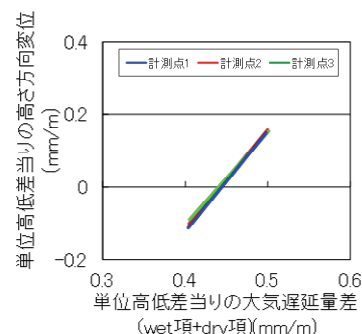
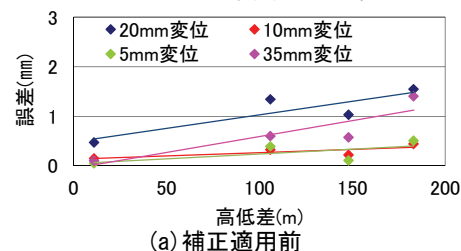
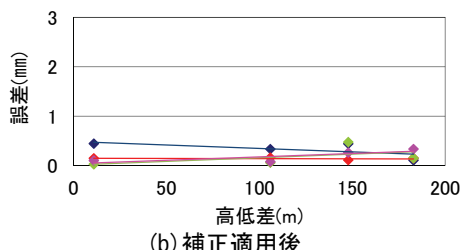


図7 単位高低差当りに換算した高さ方向変位と大気遅延量差の関係 (近似線)



(a) 補正適用前



(b) 補正適用後

図9 高低差と誤差の関係 (a) (b)