

堤高の高いロックフィルダムにおける GPS 堤体外部変位計測結果と対流圏遅延補正

山口大学大学院 学生会員 ○大和健大朗

山口大学大学院 正会員 中島伸一郎, 清水則一

(独)水資源機構 正会員 佐藤信光, 久保田貴史

1. はじめに

GPS 変位計測システムの導入により, ダム堤体変位を自動的かつ連続的に観測できるようになってきている¹⁾. 毎時間隔で観測される連続的な変位データにより, 堤体の詳細な挙動を捉えることが可能となり, 安全監視の高度化に資すると期待される. ただし, 高品質な変位を得るためには, GPS 特有の様々な誤差を適切に取り除く必要がある. 誤差として GPS センサ間の高低差に起因して発生する対流圏遅延誤差²⁾がある. 堤高の高いダムではセンサの設置標高差が大きくなる場合があり, 対流圏遅延誤差の影響が懸念される³⁾. 本研究では堤高の高いダムでの GPS 計測事例として, 徳山ダムでの長期変位計測結果とその誤差補正を紹介する.

2. 徳山ダムの現場概要および計測概要

徳山ダム(岐阜県揖斐郡)は堤高 161.0 m, 堤頂長 427.1 m の中央土質遮水壁型ロックフィルダムである. GPS センサは図-1 に示すように, 計測点が天端と下流側斜面に計 7 点, 堤体から離れた右岸岩盤上に基準点が 3 点設置されている. 図-1(b)に示すとおり, GPS センサの標高差は最大で 134 m である. GPS 変位計測は図-2 に示すように, 試験湛水開始から 2 カ月後の 2006 年 11 月に始まり, 現在まで継続中である. 計測方法は L1 波を用いたスタティック法²⁾であり, 基線解析により得られる各計測点の 1 時間ごとの座標から 3 次元変位(上下流方向, ダム軸方向, 高さ方向)を求める. 基線解析結果にはトレンドモデル⁴⁾による平滑化処理を行う.

3. 計測結果

計測結果の一例として, 図-2 に中央断面天端の計測点 GD-4 で得られた 3 次元 GPS 変位(基準点は K-1 を使用)と, 同期間の貯水位, 現場で観測された積雪深の推移を示す. GPS 変位は基線解析結果にトレンドモデルを適用した平滑化結果である. 図より, 各年冬期に変位の乱れが生じているが, これは

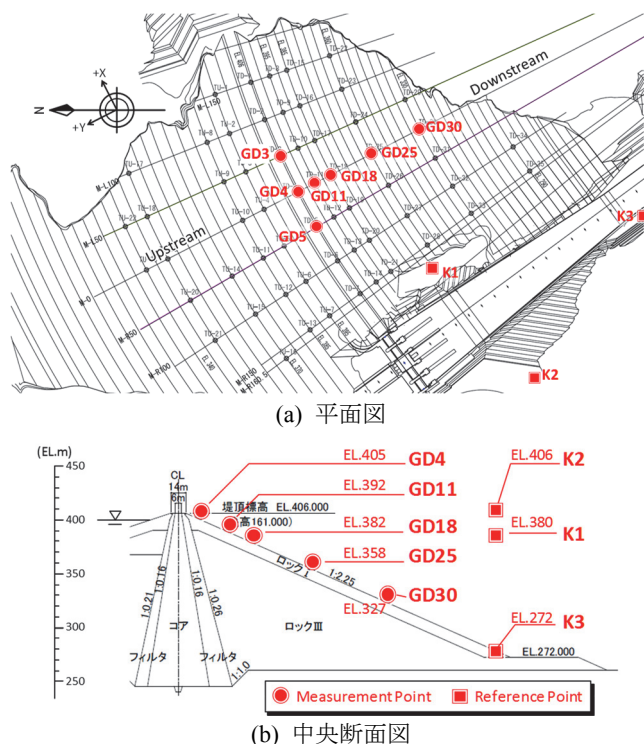


図-1 徳山ダムの GPS センサ配置図

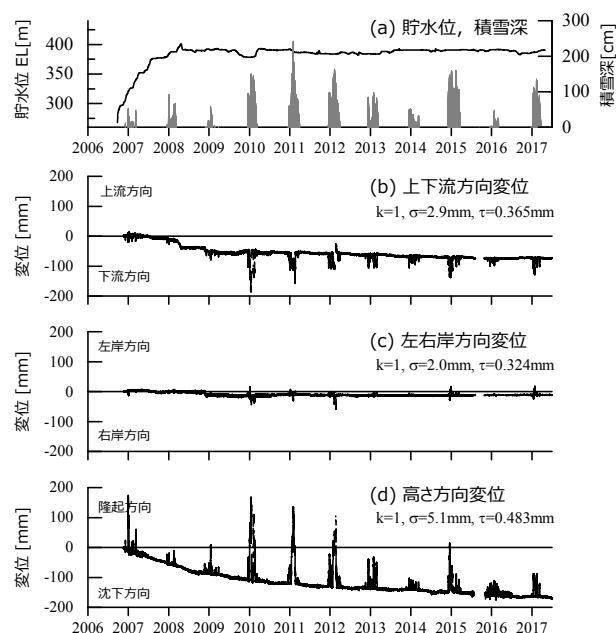
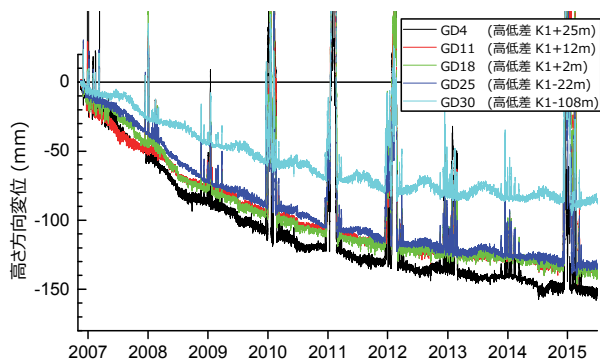


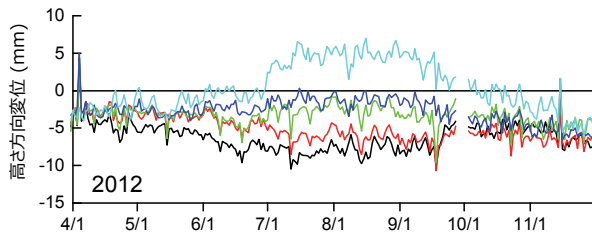
図-2 GD-4 (基準点 K-1) の GPS 変位計測結果

キーワード GPS フィルダム 対流圏

連絡先 〒755-8611 宇部市常盤台 2-16-1 山口大学工学部社会建設工学科 TEL (0836)85-9334



(a) 高さ方向変位（全期間）

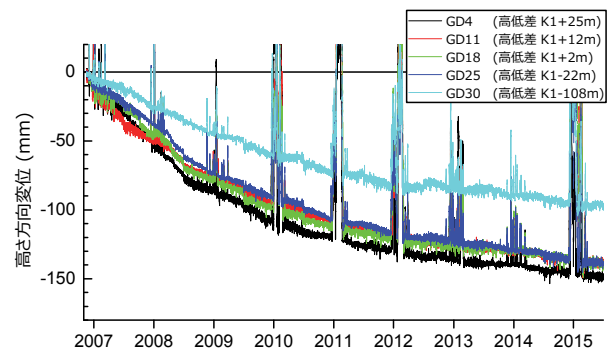


(b) 高さ方向変位（2012 年）

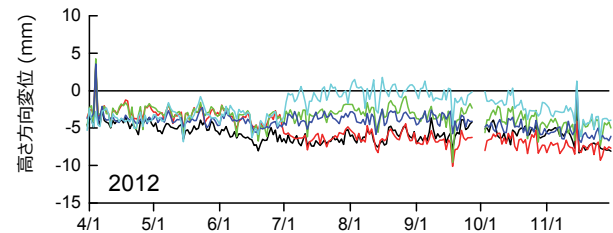
図-3 標準的な基線解析による下流斜面計測点での GPS 高さ方向変位（基準点 K1）

センサ上の積雪による見かけの変位である⁵⁾。

図-3 は、中央断面の 5 測点の高さ方向変位で、基準点を K-1 とし、誤差補正を行わない標準的な基線解析結果である。図より、高さ方向変位には年周期的な脈動が見られる。一期間を拡大し始点変位を合わせた図-3(b)を見ると、脈動の振幅は基準点と計測点との高低差の増大とともに大きくなることや、基準点よりも標高の高い計測点と低い計測点では、脈動の位相が逆転していることが確認できる。これらの特徴はいずれも、センサ間の高低差に起因する対流圏遅延誤差によるもので、筆者らの研究から、気象データ（気圧・温度・湿度）を用いた修正 Hopfield モデルによる補正が有効であることがわかっている⁶⁾。そこで、最寄りの気象官署（岐阜地方気象台）の気象データを用いて修正 Hopfield モデルによる対流圏遅延補正処理を行ったのが図-4 である。図-4(b)より、補正前の高さ方向変位の脈動は大幅に軽減され、計測点の高低差によらず、ほぼ同一の変位計測値となったことが確認できる。以上より、徳山ダム の GPS 変位計測値には、センサ間の高低差に起因した対流圏遅延誤差が含まれており、気象データを用いた修正 Hopfield モデルによる対流圏遅延補正により誤差が大幅に改善されることが確認できた。



(a) 高さ方向変位（全期間）



(b) 高さ方向変位（2012 年）

図-4 修正 Hopfield モデルによる対流圏遅延補正を行った下流斜面計測点での GPS 高さ方向変位（基準点 K1）

4. まとめ

堤高の高いフィルダムとして、徳山ダムの GPS 変位計測結果を分析し、以下を明らかにした。

- GPS 高さ方向変位に年周期的な脈動が確認され、その挙動の特徴から、センサ間の高低差に起因する対流圏遅延誤差によるものと推定した。
- 気象データを用いた修正 Hopfield モデルを適用することにより、対流圏遅延誤差を大幅に軽減できることを確認した。

参考文献

- 1) 岩崎智治, 小堀俊英, 増成友宏, 山口嘉一, 清水則一: フィルダム外部変形計測への GPS 自動変位計測システムの適用に関する研究, ダム工学, 22(1), pp.4-15, 2012.
- 2) 清水則一: GPS による変位計測技術の変遷と展望, ダム技術, No.296, pp.4-12, 2010.
- 3) 岩崎智治, 佐藤渉, 曾田英揮, 田中幹大, 清水則一: GPS を用いたフィルダム外部変形計測における高低差の影響と補正方法について, 土木学会第 64 回年次学術講演会講演集, VI-139, 2009.
- 4) 北川源四郎: 時系列解析プログラミング-FORTRAN77, 岩波書店, 390p., 1993.
- 5) 大和健大朗, 中島伸一郎, 清水則一, 佐藤信光, 久保田隆史: 堤高の高いロックフィルダムにおける GPS 堤体外部変位計測結果と積雪による影響, 土木学会第 73 回年次学術講演会講演集, 2018 (投稿中).
- 6) 中島伸一郎, 平林憲, 清水則一, 増成友宏, 岩崎智治, 小野雅和: 長大斜面における GPS 変位計測の大気遅延補正とその効果, Journal of MMIJ, 128(6), pp.255-264, 2012.