

大型ロックフィルダム GPS 堤体変位計測における対流圏遅延補正と 3 次元変位計測結果

山口大学大学院 学生会員 ○廣光界登
 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 津田守正, 市川滋己

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. 大型ロックフィルダムでの GPS 堤体変位計測では, 天端と法面低標高部のセンサ間の高低差による対流圏遅延の影響が懸念されることがある.

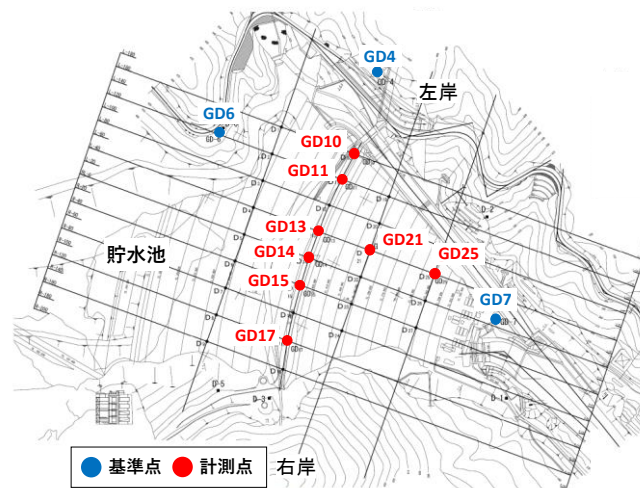
本稿では, 3 年間にわたり GPS 計測が行われているロックフィルダムの計測結果と誤差処理の概要を述べるとともに, 天端と下流斜面で計測された三次元変位の傾向と, 貯水位-水平変位関係について報告する.

2. 現場概要および計測概要

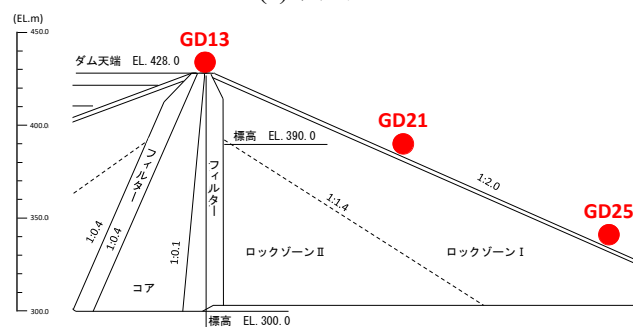
計測現場は, 堤高 127.5 m, 堤頂長 428.0 m の傾斜土質遮水壁型ロックフィルダムである.

GPS による堤体変位の計測は, ダムの運用開始から 40 年経過後の 2017 年 3 月に開始し現在まで約 3 年間継続している²⁾. 計測方法は L1 波を用いたスタティック法³⁾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, 左右岸方向, 高さ方向) を求める. GPS センサは図-1 に示すように, 天端に 6 点 (GD10, GD11, GD13, GD14, GD15, GD17), 下流側斜面上に 2 点 (GD21, GD25), また堤体から離れた岩盤上に基準点が 3 点 (GD4, GD6, GD7) 設置されている.

本ダムにおける GPS 計測上の特徴として, 基準点と計測点の高低差が大きいこと, 計測変位に対流圏遅延誤差の影響が生じることが懸念される. これは高低差分の大気中を GPS 電波が通過する際に生じる



(a) 平面図



(b) 断面図

図-1 GPS センサ配置

遅延 (大気密度=気象条件に依存) が GPS 計測変位に含まれることによるものである. 対流圏遅延誤差は, 計測範囲が 1 km 程度以内の狭い領域であれば, 現場気象データを用いた修正 Hopfield モデルにより補正可能であることが, 筆者らの研究で明らかになっている⁴⁾. そこで本研究では, 当ダムの最寄りの気象観測所の特別気象データ (気圧, 気温, 湿度) を用いて修正 Hopfield モデルを考慮した基線解析を実施した. さらにトレンドモデルによる平滑化を行って, 真の変位を推定している.

キーワード ロックフィルダム, GPS, 対流圏遅延誤差, 修正 Hopfield, 水平変位

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学工学部 TEL 0836-85-933

3. 計測結果および考察

図-2 は、図-1(b)に示す断面における 3 つの計測点 (GD13, GD21, GD25) での GPS 変位を示している。変位は 2018 年 12 月 21 日を基準 (変位ゼロ) として 2020 年 5 月 1 日までのデータである。基準点は GD6 を用いている。

経年的な傾向として、水平方向には貯水位の変化に連動し、貯水位が上昇すれば下流方向へ変位し、貯水位が低下すれば上流方向へ戻る変位を示している。その変位振幅は、天端 (GD13) で最も大きく、低標高になるほど小さい。左右岸方向には目立った変位は見られない。高さ方向には、表示した期間内で ± 5 mm 程度の変位が確認できるが、貯水位の昇降との関係は不明瞭で、一方的な沈下や隆起ではないことから、堤体の安全性に影響を与えるものではないといえる。下流側斜面の GD21 と GD25 の高さ方向変位には、2 週間程度の周期で細かいうねりが確認できるが、これは対流圏遅延による誤差が除去しきれていない可能性が指摘され、今後、気象データの取り扱い等も含めて詳細な検討が必要である。

図-2(b)より上下流方向変位の変化は貯水位の変化と連動していたことから、両者の相関を取ったのが図-3 である。図より各計測点で、貯水位の昇降に応じて下流-上流へ変位を繰り返しており、その経路は貯水位上昇時と低下時で同じ経路を辿っていることが確認できる。すなわち、堤体は貯水位による水圧の変化に対して弾性的に挙動しているといえる。また、経路の勾配を比較すると、天端が最も緩勾配で変形が大きく、標高が低くなるほど急勾配で変形が小さいことが確認できる。堤体の形状を反映した変位挙動であるといえる。

4. まとめ

傾斜土質遮水壁型ロックフィルダムの GPS 堤体計測変位について、以下の通りまとめる。

- ・基準点と計測点との高低差により対流圏遅延誤差の影響が懸念されることから、修正 Hopfield モデルによる誤差処理を実施した。
- ・現在までのところ短期間の計測結果ではあるが、貯水位の変化に連動した水平変位の変化が確認され、堤体の変位挙動は弾性的で健全性を保っていると推測される。

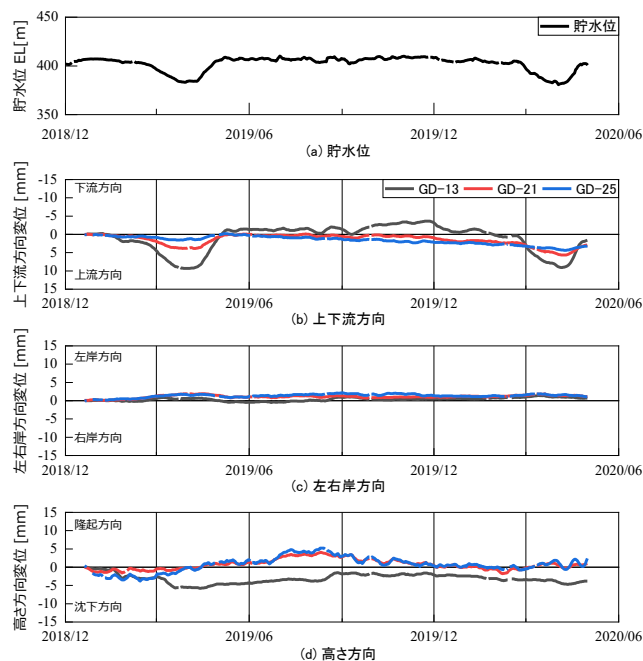


図-2 主観測線上 3 点 (基準点 GD6) における GPS 変位計測結果

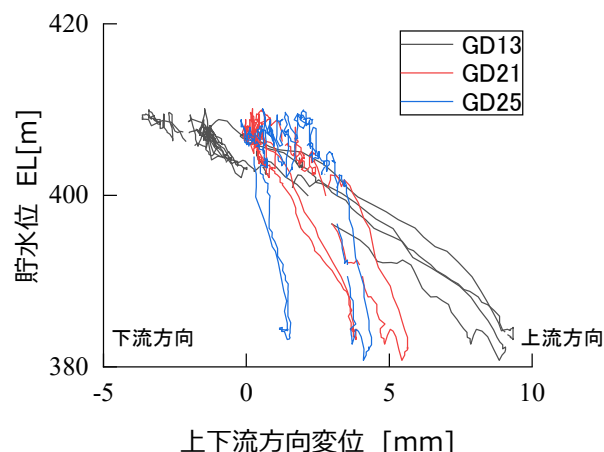


図-3 主観測線上 3 点 (基準点 GD6) の上下流方向変位-貯水位変位関係

- ・下流側斜面低標高の鉛直変位には 2 週間程度の周期のうねりが見られ、対流圏遅延誤差が残っている可能性があることから、今後詳細に検討する。

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) 佐藤信光, 市川滋己, 津田守正: GPS 計測によるロックフィルダム堤体の変形挙動の新たな知見と取り組み, 第 55 回地盤工学研究発表会発表講演集, 21-7-3-07.
- 3) 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.
- 4) 中島伸一郎, 清水則一, 平林憲, 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 Vol.128 p.255-264 (2012).