

大型ロックフィルダムにおける GPS を用いた堤体変位挙動の長期観測結果

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。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。

本研究では, 大型ロックフィルダムで 10 年以上にわたり観測されている GPS 堤体変位計測結果について報告する。

2. 現場概要および計測概要

対象現場は岐阜県揖斐郡揖斐川町に位置する, 堤高 161.0m, 堤頂長 427.1m 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, 天端と下流側斜面上に計測点が計 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。GPS による堤体変位の計測は, 試験湛水開始から 2 カ月後の 2006 年 11 月に始まり, 現在まで約 14 年間にわたり継続中である。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, 左右岸方向, 高さ方向)を求める。

3. 計測結果および考察

図-2 に下流側斜面 5 点で得られた, 試験湛水開始から 2019 年 6 月末までの 3 次元 GPS 変位(基準点は K-1)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 変位計測結果には様々の誤差が含まれるため, 以下のような誤差処理を行った³⁾。

- ① このダムは堤高が高く GPS センサ間の高低差が大きいので, GPS 高さ方向変位に対流圏遅延誤差が生じることがわかった。そのため, 修正 Hopfield モデルにより対流圏遅延量を推定して



図-1 対象ロックフィルダムの平面と GPS センサ配置

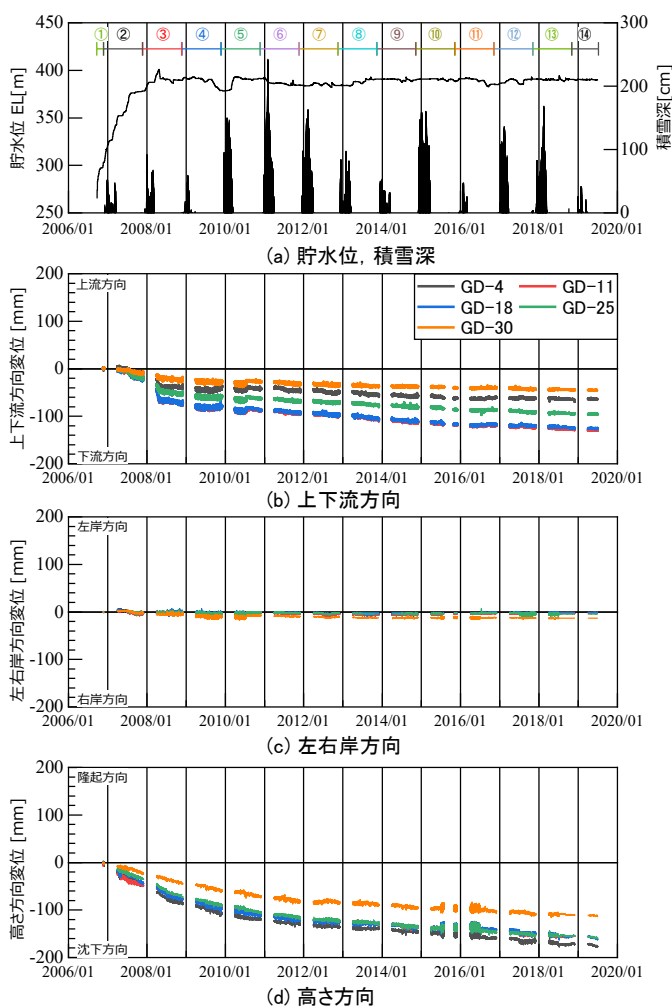


図-2 GD-4 (基準点 K-1) の GPS 変位計測結果
(図中の①~⑭は, 図-3 と同様)

キーワード GPS フィルダム スタティック法 修正 Hopfield モデル

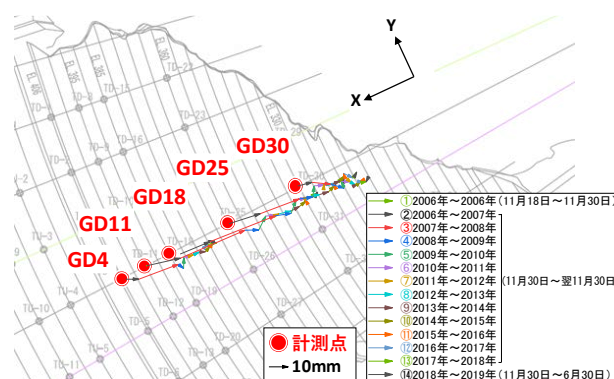
連絡先 〒755-8611 宇部市常盤台 2-16-1 山口大学工学部社会建設工学科 TEL (0836)85-9334

誤差を補正した。なお、本補正に必要な時別気象データ（大気圧，気温，湿度）は，現場最寄りの気象観測所（岐阜地方気象台）のものを使用した。

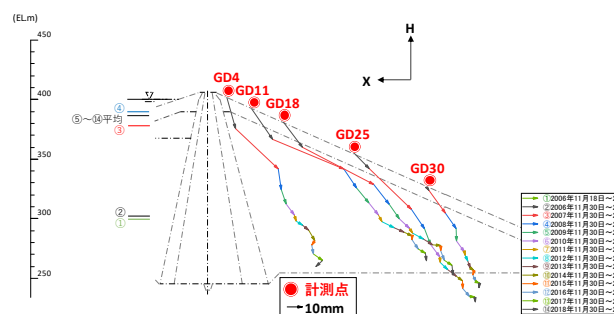
- ② このダムは積雪地帯にあり，GPS アンテナ上への着雪による衛星電波の減衰・乱れの影響が大きいことがわかった。積雪による計測変位の誤差は補正により取り除くことが困難であることから，冬季の計測データは使用しないものとした。
- ③ GPS 基線解析結果に含まれるランダムノイズはトレンドモデル⁴⁾を適用して除去し，真の変位を推定した。

以上の処理を経て得られた GPS 変位計測結果が図-2 である。図より，冬季のデータは省かれているものの，各計測点で滑らかな時系列変位曲線が得られている。経年的な傾向として，水平方向には下流側に，高さ方向には沈下方向に単調に変位を示しているが，変化量についてはほぼ収束していることがわかる。水平変位は，斜面中腹から上部にかけて（GD-11，GD-18）が最も大きく，天端および低標高部は小さい（GD-4，GD-30）。沈下量は低標高部（GD-30）を除けばほぼ同じ変位を示している。

GPS による 3 次元変位をベクトル表示したものが図-3 である。ベクトルはおおむね一年ごとに区切って色分けしている。図-3 (a) より，5 計測点全てにおいて試験湛水期から現在まで，一貫して下流向きに変位している。下流向きの変位量は試験湛水が行われて最高水位に達する期間②・③が最も大きい。貯水位の上昇にともなう静水圧荷重の増加が影響しているといえる。左右岸方向について変位はわずかである。傾向としては全体的に右岸向きの変位であり，最大断面に向く変位となっている。図-3 (b) より，5 計測点全てにおいて下流側，沈下方向への変位が見られる。堤体の自重による経年的な圧縮と湛水によるロック材の浸水沈下が生じた結果であると考えられる。中標高部（GD-11，GD-18）で下流斜面に沿う方向に変位が生じ，天端（GD-4）よりも大きな変位となっている。これと同様の変位は他のフィルダムでも観察されており⁵⁾，メカニズムは今後の検討課題である。



(a) 平面ベクトル図



(b) 断面ベクトル図

図-3 下流斜面計測点 5 点における変位ベクトル
(基準点 K1)

4. まとめ

大型ロックフィルダムの GPS による堤体変位閉塞結果から以下を明らかにした。

- ・ 経年的な傾向として，水平方向には下流側に，高さ方向については沈下方向に単調な変位が見られたが，変化量はほぼ収束していること．
- ・ ベクトル図より，上下流方向は，試験湛水による貯水位の上昇に伴い，下流側方向へ変位が生じること，高さ方向は，部材の自重により，沈下方向へ沈下が生じること．

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) Yamato et al.: Tropospheric delay correction in GPS displacement monitoring: Case study of Tokuyama Dam in Japan, Proc. YSRM2019, 2-2-2, 2019.
- 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) 中島伸一郎，川崎秀明，久保田昇助，中野太郎，清水則一：フィルダムの堤体挙動観測への GPS 変位計測システムおよび振動弦型間隙水圧計の適用，土木学会論文集 F3(土木情報学)，Vol.68，No.1，1-12，2012.