

GNSS を活用したロックフィルダム堤体の変位計測による新たな知見と取り組み

国際航業(株) 正会員 ○佐藤信光 非会員 飯田大貴
(独)水資源機構 非会員 出尾陽一 正会員 陳翔

1. はじめに

ロックフィルダムの安全管理における計測項目は河川管理施設等構造令で規定されている。このうち、堤体の外部変形計測は、従来の光波測量のほかに各機関で GNSS 計測の導入が進められ、GNSS を活用したダムの安全管理の高度化・合理化が期待されている²⁾。水資源機構では6つのロックフィルダムにおいて GNSS による堤体変形計測を導入しており、GNSS による多点、高精度、3次元、毎正時リアルタイムの特徴を活用して得られた新たな知見と取り組みを報告するものである。

2. 豪雪地域における GNSS による堤体変形挙動の分析

対象とした奈良俣ダム(堤高 158m, 完成 1991 年)は利根川上流の豪雪地帯に位置し、2018 年 11 月から GNSS 計測を開始している。ダム管理所地点の最大積雪深はダム管理開始以降、最大年 3.2m, 平年 1.6m 程度であり、積雪によって冬期間の光波測量が困難であった。支柱型の GNSS によって豪雪時においても天端 GNSS センサーは埋設することなく(図-1)、冬期間(12~4 月)の大きな水位変化における堤体変形を計測できた(図-2)³⁾。天端 GNSS(GD-4)において、水位の低下に伴って堤体天端部の上下流変位は上流側に、鉛直変位は沈下し、貯水位の上昇に伴って下流側ならびに隆起している。従来の光波測量では、測量精度の関係からこの隆起事象を把握されていなかったが、GNSS の高精度の計測によって浮力の影響と思われる隆起事象を確認することができた。

3. 天端 GNSS 変位による堤体内挙動の分析

天端 GNSS 変位を用いて大きな水位変化に伴う堤体内挙動の分析を行う。奈良俣ダムの天端(GD-4)の上下流変位および鉛直変位に対する貯水位の相関を図-3 に示すが、双方とも軌跡ループを描き、コア内の間隙水圧の影響が推察される。奈良俣ダムでは堤体コアの間隙水圧計の一部が計測されており、間隙水圧計(図-4)の計測値と GNSS 変位の経時変化を図-5 に示す。コア内の間隙水圧は貯水位の変化に追従して低下、上昇し、上流部 P27 の方が貯水の影響を受けて大きく変化している。上流部 P27 の間隙水圧と上下流変位の相関(図-6(左図))は、貯水位の低下、上昇の過程でほぼ同じ軌跡を示し、鉛直変位は平行的な軌跡を示した。中央部 P29 の相関(図-6(右図))は、逆に鉛直変位が貯水位の低下、上昇の過程でほぼ同じ軌跡を示し、上下流変位は軌跡ループを示した。堤体の上下流変位は堤体コア部の上流部の影響を、鉛直変位はコア部の中央部の影響を大きく受け、堤体の隆起事象はコア中央部の間隙水圧増加の関係から浮力の影響が推察される。天端の高精度な GNSS 変位と堤体コ

キーワード GNSS, GPS, ロックフィルダム, 堤体変形

連絡先 〒183-0057 東京都府中市晴見町 2-24-1 国際航業(株) モニタリング部 TEL 042-307-7210



図-1 積雪時の天端 GNSS

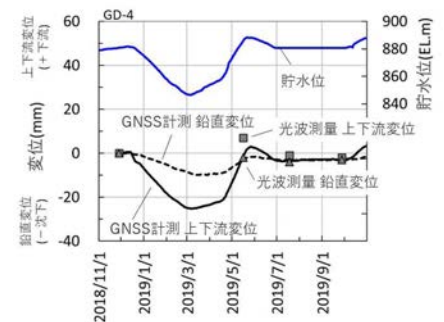


図-2 GNSS 計測, 光波測量

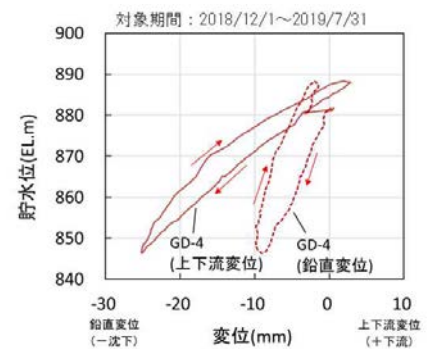


図-3 貯水位~GNSS 変位

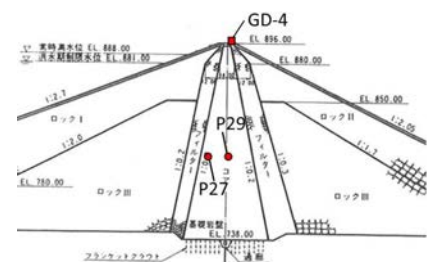


図-4 間隙水圧計の設置箇所

ア内の間隙水圧の相関性を詳細に分析することにより、堤体内挙動の健全性を評価できる可能性がある。

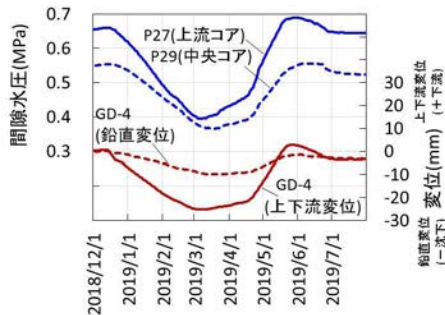


図-5 間隙水圧, GNSS 変位の経時変化

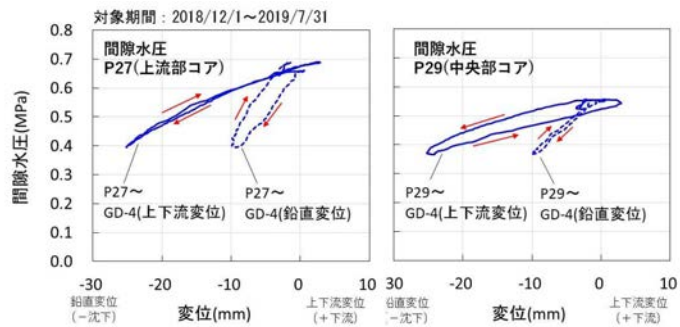


図-6 間隙水圧～GNSS 変位

4. 洪水時の急激な水位上昇における GNSS による堤体変形挙動の分析

近年の頻発する異常豪雨では、ダムでも異常洪水において急激に大きく水位が上昇し、この洪水時の堤体の安定性の確認に対して、光波測量では豪雨時における迅速な堤体変位計測は難しかった³⁾。水資源機構の6ダムでは堤体に GNSS を設置しており、近年の豪雨における堤体変形を計測している。対象とした岩屋ダム(堤高 127.5m,完成 1976年)では、2020年7月の豪雨に伴う 13mの急激な水位上昇による堤体変形を GNSS で計測することができた(図-7)。

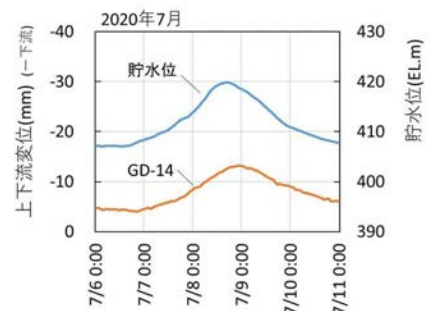


図-7 洪水時の GNSS 計測

貯水位と天端 GNSS(GD-14)の上下流変位の相関(図-8)を洪水時と通常時で比較する。2020年7月豪雨では水位 13mの上昇, 下降において変位の軌跡ループがみられ, 2021年8月の豪雨では水位の上昇が 5m程度と小さく, 変位の軌跡ループを示さなかった。また, 通常時の遅い貯水位変化に伴う変位の相関勾配に対して, 洪水時の相関勾配はやや変位が大きい傾向を示した。なお, 通常時の貯水位と変位の軌跡ループは小さく, 洪水時の急激で大きな水位上昇における軌跡ループは, 堤体コア内の間隙水圧の変化の追従性が影響していると推察される。

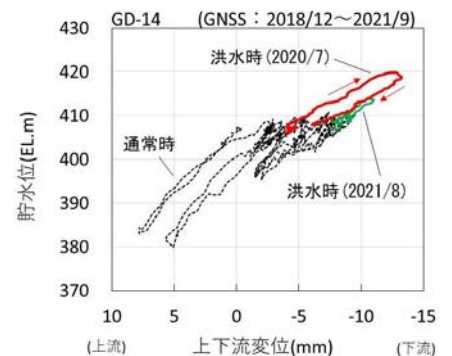


図-8 貯水位～GNSS 変位

岩屋ダムの管理開始以降における天端の上下流変位と貯水位の相関(図-9)を光波測量と GNSS 計測で比較する。試験湛水時の S.W.L 水位における堤体変形は光波測量で把握されているが, その後, N.W.L 以上高水位における堤体変形を殆ど計測されていなかった。GNSS 計測によって初めて豪雨時の急激な水位上昇の堤体変形を計測し, 堤体の上下流変位は試験湛水時の水位低下時と同程度であることを確認した。

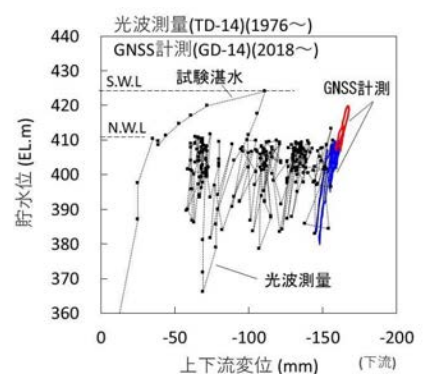


図-9 光波測量, GNSS 計測

5. おわりに

GNSS をロックフィルダム堤体の変形計測に活用して, 堤体コア内の間隙水圧との関連性および豪雨時の急激な水位上昇, 下降における堤体変位の実態を把握することができた。GNSS 計測は, 豪雪地域のダムにおける積雪時の地震発生後の臨時点検において, 堤体の安全管理に活用できるものである。今後とも, GNSS を活用してダムの安全管理の高度化, 合理化に取り組んでいきたい。

参考文献

- 1) 国土交通省:河川管理施設等構造令,2000 2)ダム工学会:フィルダムの変位計測に関する GPS 利用マニュアル,2014.6. 3)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,2020.7.