

GNSS による堤体挙動監視とその適用性

下村 優介

蓮ダム管理所（〒515-1615 三重県松阪市飯高町森 1810-11）

蓮ダム管理所では、『河川管理施設等構造令』で義務付けられている漏水量・揚圧力・変形量の計測を行っている。このうち、変形量は、ダム堤体の天端から下方に鉛直な管を埋設し、この中にピアノ線を通して先端に錘を吊り下げた「プラムライン」によって計測している。この計測にあたり、異なる手法である堤体表面に取り付けた GNSS によって計測した値との比較（クロスチェック）を行い、より詳細にダム堤体の挙動を確認したものであり、プラムラインと GNSS 計測値との比較・分析の結果、重力式コンクリートダムの堤体変形の計測における GNSS の適用性と今後の課題について報告する。

キーワード：堤体挙動観測，堤体挙動解析，相関分析，GNSS 測量，残留変形量

1.はじめに

蓮ダムは、高さ 78m の重力式コンクリートダムであり、一級河川櫛田川の河口から約 74Km 上流の支川である蓮川に位置する。平成 3 年に完成し、洪水調節、流水の正常な機能の維持、水道用水の確保及び発電を目的とした多目的ダムである。

表.1 蓮ダム諸元

ダム形式	重力式コンクリートダム
ダム高	78m
堤頂長	280m
堤体積	484,000m ³
貯水容量	32,600,000m ³
目的	F N W P
完成	平成 3 年（1991 年）

F：洪水調節，N：流水の正常な機能の維持

W：上水道，P：発電



写真.1 蓮ダム堤体全景

蓮ダムでは、管理開始以降、堤体内の漏水量、堤体基礎に生じる揚圧力、堤体の上下流方向及び左右岸方向の変形量を計測し、堤体挙動を監視している。

このうち、堤体の変形量は、プラムライン（図.1）によって計測されている。このプラムラインの計測の結果、堤体は貯水位が低下して気温が上昇する夏期に上流側に変形し、冬期は元に戻るよう下流側へ回復する年変動を繰り返した。貯水位や気温に追従した重力式コンクリートダムにおける一般的挙動を示しているが、長期的な変動傾向を見ると、変形量が徐々に上流側へ累積していることが窺え、状態

監視を継続していた。

そして、令和元年度にダム総合点検が実施され、専門家へ意見聴取を行った。その際に、堤体が上流側に累積して変形し、残留している可能性が高いことを説明した。聴取の結果、別途 GPS 等による計測を行い、プラムラインの計測結果との相違を確認した方が良いとの助言を受けた。

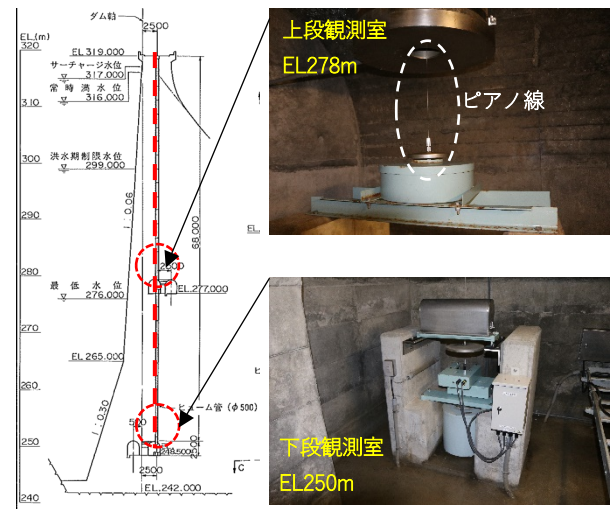


図.1 プラムラインの構造図

2.蓮ダムにおける GNSS の採用

専門家から受けた助言を踏まえ、GNSS（Global Navigation Satellite System）と呼ばれる日本、アメリカ、ロシア、EU 等の衛星を利用する測位システムを導入し、プラムラインの計測結果をクロスチェックすることとした。なお、GPS は、アメリカの衛星を使用した測位システムを意味する。

ダム堤体変形の計測における GNSS の採用は、ロックフィルダムが主であったが、図.2 に示すとおり、2 台以上の受信機で 4 機以上の GNSS 衛星を同時観測する相対測位は、データ処理技術の向上に伴い、近年は重力式コンクリートダムでも使用されている。また、GNSS の計測精度は 1~2mm 程度でプラムラインの検出精度（±0.1mm）よりも劣るが、今回のクロスチェックにあたって、プラムラインと同様に

堤体変形の常時計測は可能であると判断した。

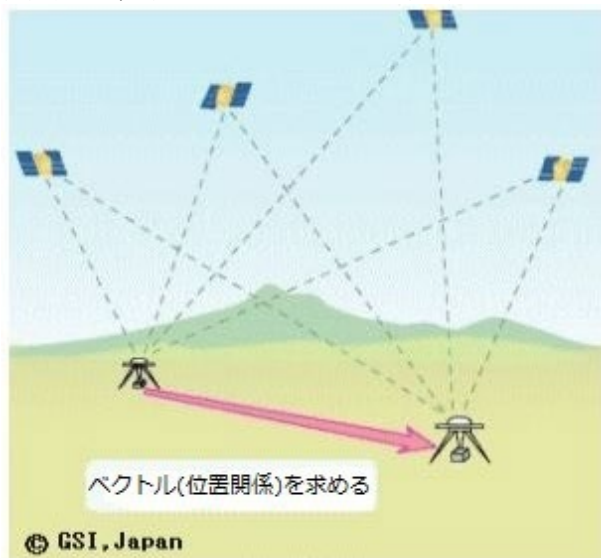


図.2 GNSS イメージ図

蓮ダム の堤体の変形量(上下流方向, 左右岸方向)を計測するプラムラインは、堤体中央部に設置している。また、新たに整備したGNSS計測システムは、堤体天端の2箇所(プラムラインと同じG1, G2)とダム堤体下流面の下端の1箇所(G3)の3つの計測点と、管理庁舎近傍の高台に設置した基準点(GK)で構成する(図3)。なお、電源を確保するため、それぞれソーラーパネルも設置されている。

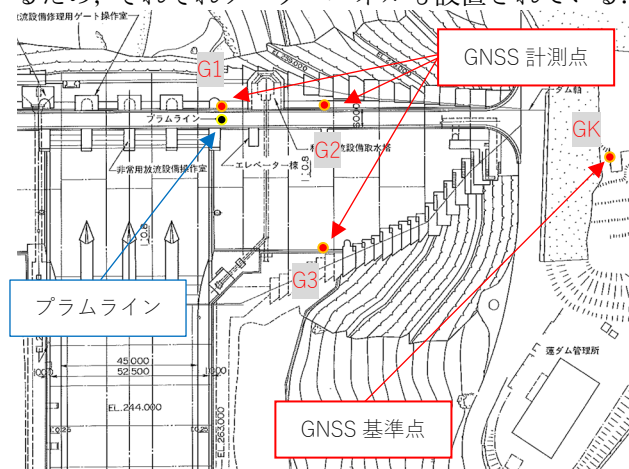


図.3 GNSS 設置位置



写真.3 GNSS (左: GK、右: G1)



写真.4 GNSS (左: G2、右: G3)

3.GNSS による堤体変形計測結果

3.1 堤体変形のトレンド

令和2年2月17日にGNSSによる計測を開始して以降、令和5年2月28日時点で3年の計測を行っている。GNSSの計測データ(G1)と、プラムラインの計測データを代表してグラフ化したものを図.4及び図.5に示す。グラフは、上下流方向の変形を示したものであり、振れ幅に相違はあるものの、GNSSの計測データも同様に夏期は上流側、冬期は下流側へと変化する年変動を繰り返していることが判る。

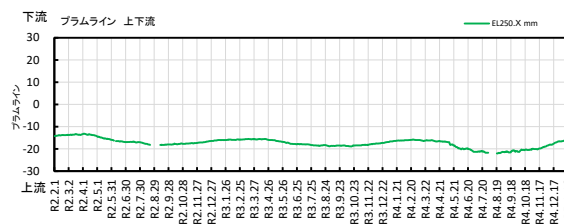


図.4 プラムラインによる上下流方向の変形

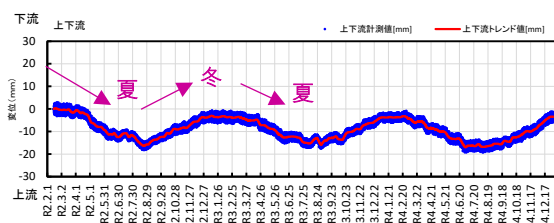


図.5 GNSSによる上下流方向の変形

また、図.6及び図.7は、左右岸方向の変形を示したものであるが、上下流方向に比べて、明確な変動は認められない。

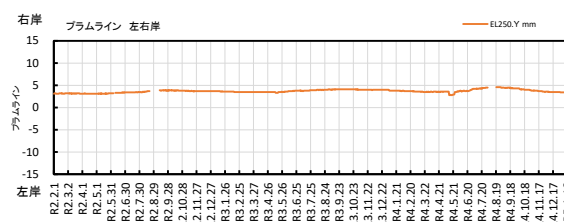


図.6 プラムラインによる左右岸方向の変形

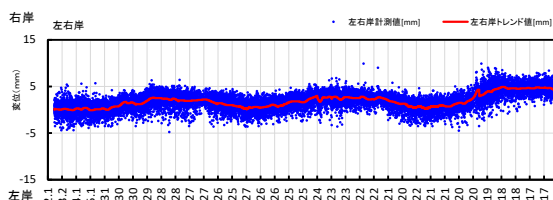


図.7 GNSSによる左右岸方向の変形

3.2 貯水位や外気温との関係性

ダム堤体の上下流方向の変形と、貯水位や外気温といった外的要因との関係を以下に示す。

図.8は、貯水位との関係を示した図であり、上段はGNSSを示し、下段はプラムラインを示したものである。3か月ピッチで色とマーカーを分けて表示

したものであり、夏期～秋期を示す暖色のマーカーの位置のとおり、この頃をピークに上流側へ大きく変形している。

しかし、その後の冬期を示す寒色や春期を示す緑色のマーカーの位置を見ると、ダム堤体の変形が下流側に戻っている。だが、観測を開始した1年前と比較して、下流側には完全に戻っておらず、上流側への変形の累積傾向が窺える。この傾向はGNSSの方が顕著に表現されており、左下段の貯水位との関係を見ると、1年目、2年目、3年目と年数を経るにつれて上流側のループを描くように移行していることが判る。

一方、図.9は気温との関係を示した図であり、気温の上昇・下降に合わせて上下流方向に点群の直線的移動がみられ、年数毎に見ると上流側への累積が判る。

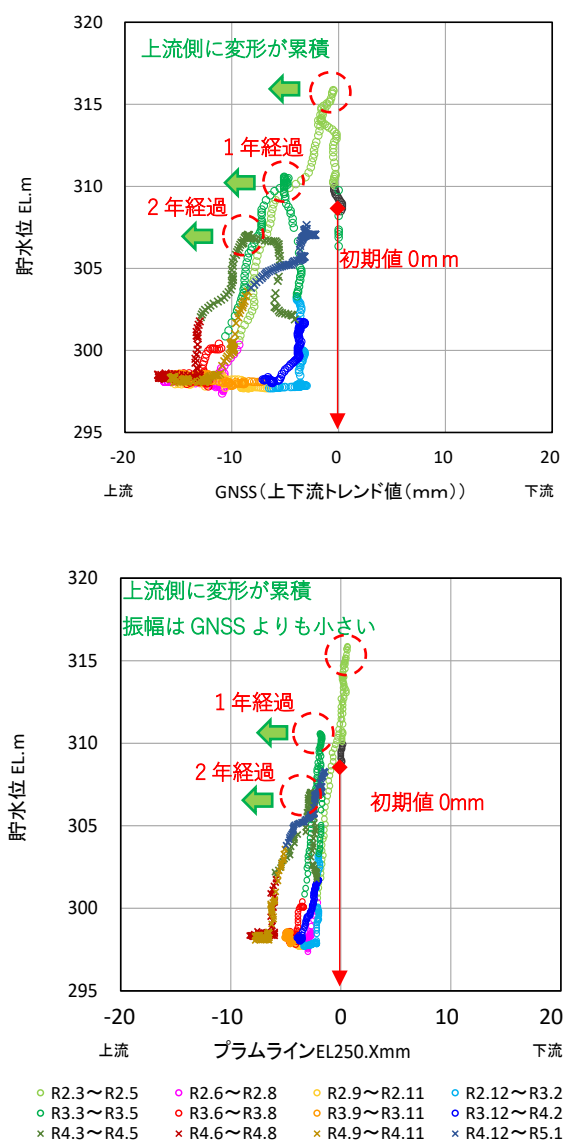


図.8 堤体変形と貯水位との関係

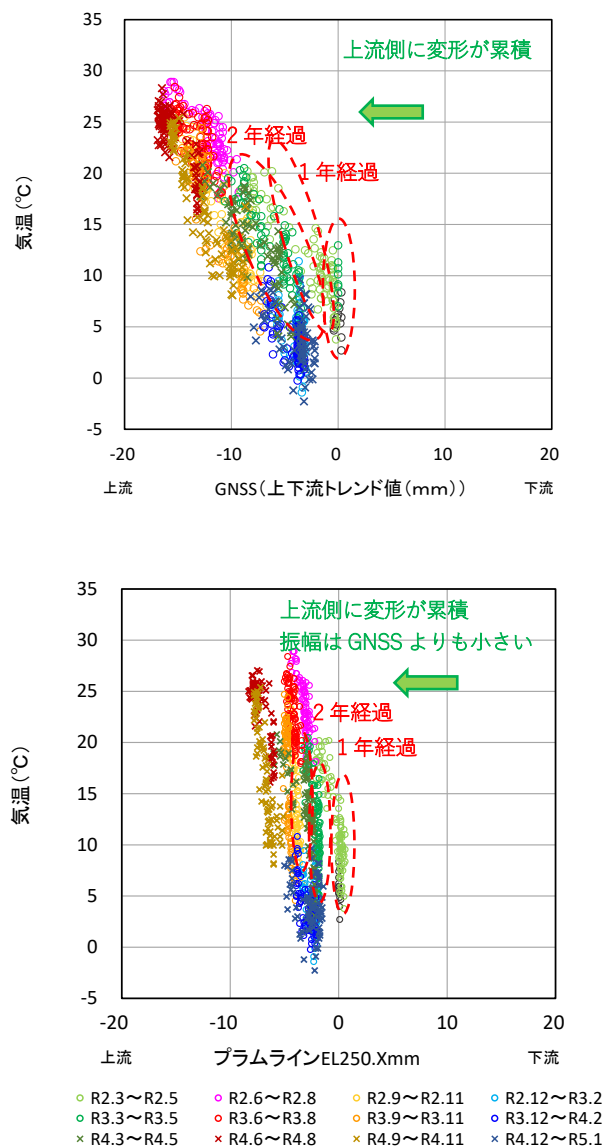


図.9 堤体変形と気温との関係

4.蓮ダムにおける GNSS の適用性と今後の課題

ブラムラインの計測値のクロスチェックのため、GNSS によるダム堤体変形の計測を開始してから3年を経過したところであるが、GNSS による堤体変形のトレンドは、ブラムラインによるトレンドと類似していることが判った。両者に同様の傾向が認められていることから、ダム堤体为上流側への変形が累積している可能性が高いものと判断している。

このことから、GNSS は蓮ダムでの堤体変形計測にも適用が可能であることが確認できた。

また、今回の GNSS の計測は、ブラムラインのクロスチェックを目的としているため、X・Y 方向の計測結果を示しているが、Z 方向（鉛直）のデータも取得しており、堤体の上下の動きも観測している。また、その上下の動きについて、明確な変動は認められていない。

なお、GNSS の適用に際しては、商用電源かソーラーパネルによる電源の確保が必要である。今回の

計測は、恒久的な計測とは異なるため、後者を採用した。ソーラーパネルは電気料金を伴わないメリットはある一方で、重力式コンクリートダム为天端には放流設備等の建屋が設置されており、日陰による日射量の不足に留意を要する。また、データ取得には通信料が発生し、ブラムラインに比べて、より多くのランニングコストを伴う点が課題であると考ええる。

現時点でダム堤体等への影響（例：ゲートの開閉支障、監査廊内等の横継目の損傷等）は認められていない。今後、ブラムラインの計測値とダム堤体の外観及び内部について、注視していく必要があると考えている。

5.おわりに

コンクリートダムの堤体変形の計測におけるGNSSの適用性は、先行するコンクリートダムにおけるGNSSの検証で、その適用性が示されているが、連ダムの計測でも、ブラムラインと類似した結果が出たことから、その適用性が確認されたと考える。連ダムにおけるGNSSの導入が、GNSS計測事例の蓄積成果となると共に、他のダムにおいて変形量のクロスチェックを行う際、手法の一つとして参考となれば幸いである。

参 考 文 献

- 1) 中部地方整備局連ダム管理所 令和元年度連ダム管理施設調査検討業務報告書
- 2) 中部地方整備局連ダム管理所 令和2年度連ダム管理施設調査検討業務報告書
- 3) 中部地方整備局連ダム管理所 令和3年度連ダム管理施設調査業務報告書
- 4) 中部地方建設局連ダム工事事務所 連ダム工事誌
- 5) 角哲也, 鈴木明, 富田邦裕, 自閑茂治, 野頼成嘉, 佐藤信光, 新谷ちか子 連ダムにおけるGNSSによる堤体挙動監視とその適用性 ICOLD 第27回マルセイユ大会課題論文 Q106-b