

GPSを用いた重力式コンクリートダムの変位計測

山口嘉一* 小堀俊秀**

1. はじめに

堤高50m以上の重力式コンクリートダムは、河川管理施設等構造令¹⁾により、漏水量、変形、揚圧力を計測することが規定されている。現在、コンクリートダムの変位計測は、主にプラムライン^{*}で行われている。

プラムラインには、堤体の相対的な水平変位を計測するノーマルプラムライン（以下、NPL）と、堤高が高い場合や基礎岩盤に弱層がある場合などに岩盤とダム堤体の間の相対的な水平変位を計測するリバースプラムライン（以下、RPL）が設置されている。プラムラインによる変位計測は極めて高精度な計測方法であるが、その設置のための費用や施工へ与える影響が比較的大きく、一般的には代表1～2断面に設置されているのが現状である。

本研究では、国土交通省東北地方整備局が最上川水系置賜野川に建設した長井ダム（重力式コンクリートダム、堤高125.5m）の変位計測にGPS変位計測システム²⁾を試験導入³⁾し、GPS変位計測システムより得られるコンクリートダムの変位挙動の確認やプラムラインとの計測値の比較を行い、その適用性について検証した。

2. 重力式コンクリートダムへのGPSの設置

GPS変位計測システムを設置した長井ダムは、2006年11月に本体コンクリート打設が終了した。試験湛水は、2009年11月30日から開始し2010年9月22日に終了した。

GPSセンサーの設置位置上流側縦断図を図-1に、断面図を図-2に示す。GPSセンサーは、L1波による静的干渉測位（スタティック測位）でトレンドモデルによる平滑化処理を行うことで1～2mmの変位が計測できる³⁾。GPSセンサーは、ダム堤頂上に可動点3点（G-1～G-3）、ダムの挙動の影響を受けない左岸に基準点として固定点1点の合

計4点設置した。GPSセンサーは図-2に示すように、G-1はNPL・DN-2と同じ15ブロックに、G-2はダム敷直下に低角度の断層が分布するためNPL・DN-1とともにRPL・DR-1が設置されている20ブロックに設置した。また、G-3は8ブロックに設置した。基準点は、左岸堤体取付け部付近のコンクリート上に設置した。GPSセンサーの設置方法の例として、G-1の設置状況を図-3に示す。可動点に設置したGPSセンサーは、堤頂下流部の高欄上に設置した。本研究に用いたGPSセンサーの主要部を構成するアンテナ部の外形はφ156mm×H116mm、質量は0.6kgと小型のセンサーであるため、図-3に示すような場合も含めダム天端のマンホールの中等の多様な場所⁴⁾へ、容易に多地点への設置が可能である。また、GPSの計測結果にトレンドモデルによる誤差処理²⁾を施すことにより、平面方向に比べ計測精度の低い鉛直方向についても、誤差処理後の精度は2～3mmと、従来の測量と同等ないしはそれ以上の精度が確保できる。

3. ダムの変位挙動計測結果

本章では、GPS変位計測システムとプラムラインによる変位計測結果について示す。本論文では、試験湛水を開始した2009年12月1日から試験湛水が終了後、最低水位（EL.322.00m：以下、L.W.L.）を約2ヶ月間保持した2010年12月1日までの計測結果を示す。

GPSは、ダム上下流方向、ダム軸方向、鉛直方向の変位を計測している。また、プラムラインは、ダム上下流方向、ダム軸方向の変位計測を行っている。本論文では、計測結果の例として、GPSとプラムラインの上下流方向変位計測結果と貯水位を図-4に示す。図は上から、(a) 20BLのGPS・G-2とNPL・DN-1、RPL・DR-1、(b) 15BLのGPS・G-1とNPL・DN-2、(c) 貯水位を示している。

3.1 GPSの計測結果

図-4に示すGPSの上下流方向計測結果について

Application of Advanced Displacement Measurement System
Using GPS to Concrete Gravity Dams

*土木用語解説：プラムライン

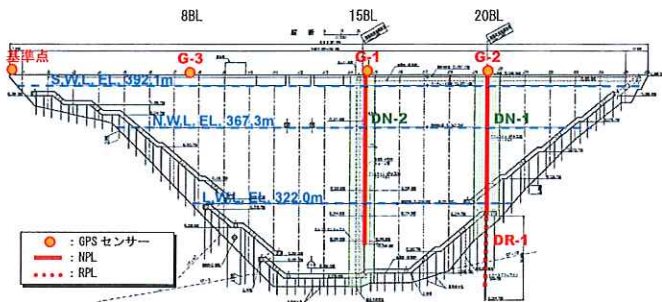


図-1 GPSセンサー設置位置（上流面図）

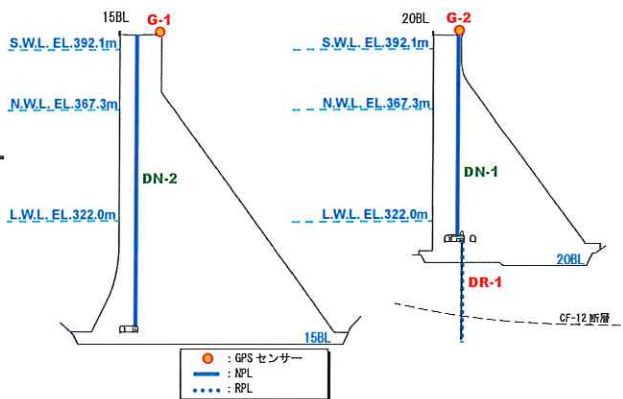


図-2 GPSセンサー設置位置（断面図）

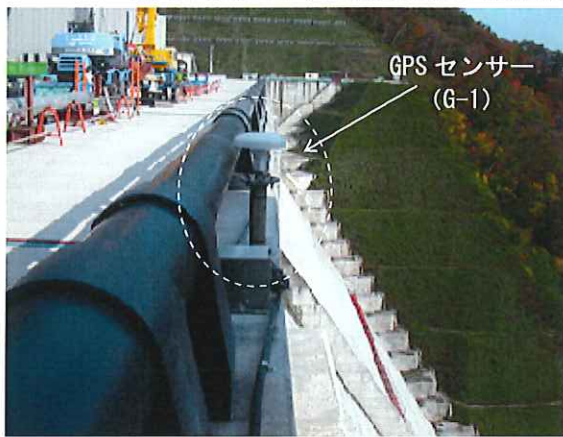
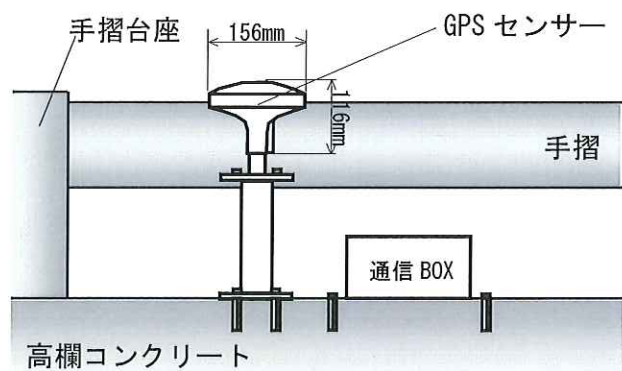


図-3 GPSセンサー設置状況（G-1）



述べる。試験湛水開始後2010年3月まで貯水位をほぼL.W.L.に保っている間は、下流側への変位はそれほど発生していない。

次に、L.W.L.から常時満水位（EL. 367.30m：以下、N.W.L.）に水位を上昇させるに従い、各計測地点とも下流方向へ5mm程度の変位が発生している。その後、水位を2009年4月29日のサーチャージ水位（EL. 392.10m：以下、S.W.L.）まで上昇させると、水位変化に応じてG-1で最大29.0mmの下流側への変位が発生している。

その後、水位の低下に従い、上流側への変位が発生している。上流側への変位は、2010年5月30日に水位をN.W.L.まで下げ、その後水位をN.W.L.で二ヶ月程度保った2010年7月26日になっても上流側への変位が若干進んでいる。この上流側への変位は、水位をL.W.L.まで低下させる途中の貯水位がEL.340m付近まで続くが、それ以降は再び下流側への変位が発生し、水位をL.W.L.に維持してからは、計測開始時の値に近づきつつある。

3.2 プラムラインの計測結果

図-4に示すプラムラインの上下流方向計測結果について述べる。湛水を開始し、L.W.L.で水位を一定に保っている期間は、DN-1とDN-2は上流側へ最大3mm程度の変位が発生している。一方、DR-1の変位はほとんど発生していない。水位をN.W.L.まで上昇させると、その間、すべての計測結果に下流側への変位が見られる。水位がS.W.L.まで上昇すると、DN-2で23.7mmの変位、DN-1とDR-1の合計で30mmの変位が発生している。その後、水位がN.W.L.まで下降するに従い、DN-1とDN-2は上流側への変位に転じ計測開始時の変位まで戻る傾向にあるが、DR-1はほとんど変化が生じていない。コンクリートダム堤体内に設置してある、DN-1とDN-2は弾性的な挙動を示し、岩盤内に設置してあるDR-1は塑性的な挙動を示していると考えられる。N.W.L.で水位を一定に保っている期間は、DN-1とDN-2は継続して上流側へ変位が発生し、計測開始時の値に戻る傾向にあるが、DR-1にほとんど変位はみられない。その後、水位をN.W.L.からL.W.L.に下降させる

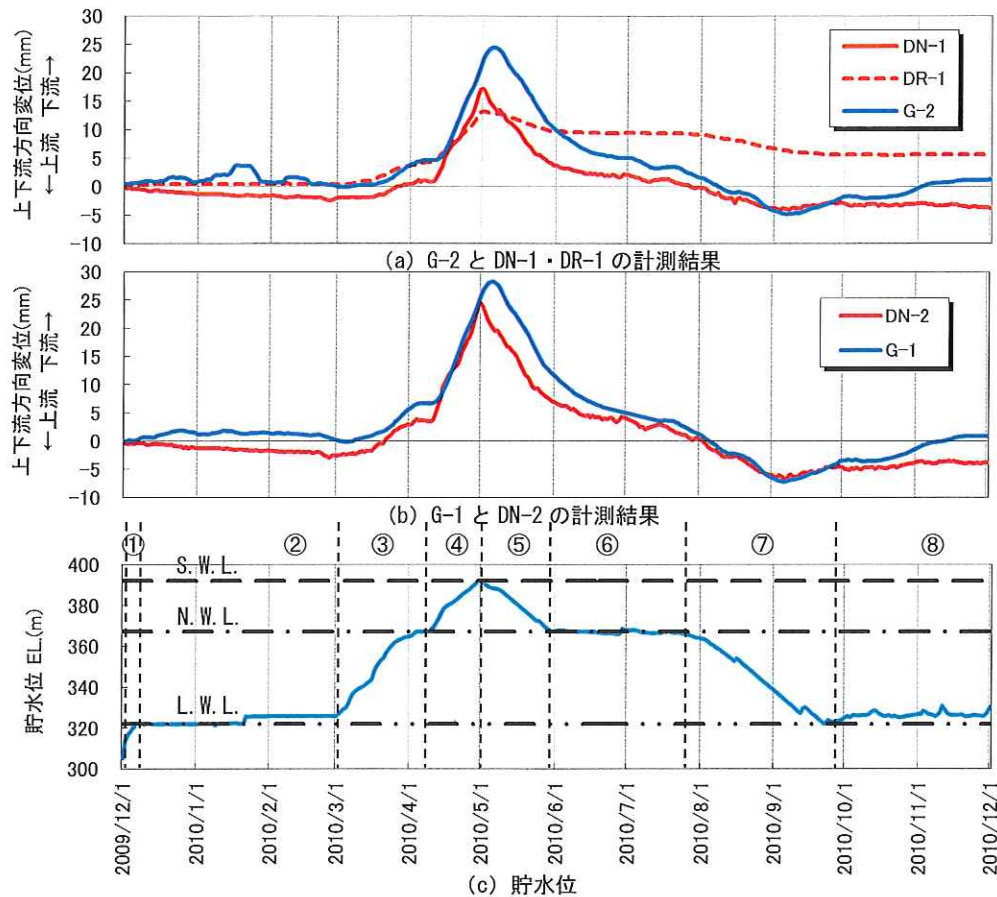


図-4 GPSとプラムラインの変位計測結果

途中、EL.340m付近でGPSの計測結果と同様に、DN-1とDN-2は下流側へ変位が発生し、L.W.L.で水位を一定にした後に下流側への変位は収まりつつある。

3.3 GPS計測結果の平面方向変位

GPSで計測された図-4に示す上下流両方向変位と同時に計測されているダム軸方向の変位の挙動を、平面方向変位ベクトルで示した結果を図-5に示す。図は実線矢印が期間変位（図-4 (c) に示すそれぞれの期間に発生した変位）、点線矢印が累積変位（計測開始時からの変位）を示している。

GPSを多地点に設置した計測結果により、水位が上昇するに従い、累積変位はダム中央に向かって下流側へ変位していることがわかるが、期間変位に着目すると、ダムに最大の水圧のかかる図-4 (c) ④時には、図-5 ④に示すように両岸部の山側へ広がるように変位ベクトルが発生していることがわかる。

3.4 GPSとプラムラインの変位計測結果の比較

GPS変位計測システムは、GPSの計測結果が全体的に大きな値となっているが、プラムラインの計測結果と、同様の傾向の計測結果を得ること

ができた。これは、ノーマルプラムラインは、ダム堤体内の変位、GPSは基礎岩盤を含めた全体の変位を計測しているためだと考えられる。

4. まとめ

本研究では、GPS変位計測システムが重力式コンクリートダムの変位計測として有用であることを検証する目的として、堤高125.5mの長井ダムにGPS変位計測システムを試験導入し、GPS変位計測システムより得られるコンクリートダムの変位挙動の確認や、プラムラインとの計測値の比較を行った。今回の計測により得られた知見を以下に示す。

- ・ GPS変位計測システムにより、プラムラインと同様の傾向の計測結果を得ることができた。
- ・ GPSセンサーを多地点（長井ダムでは3地点）に設置することにより、これまでのプラムラインによる少ない計測点での変位計測ではできなかった湛水時の詳細なダム堤体の挙動を計測することができた。今後は、これらの挙動の要因分析を行う予定である。

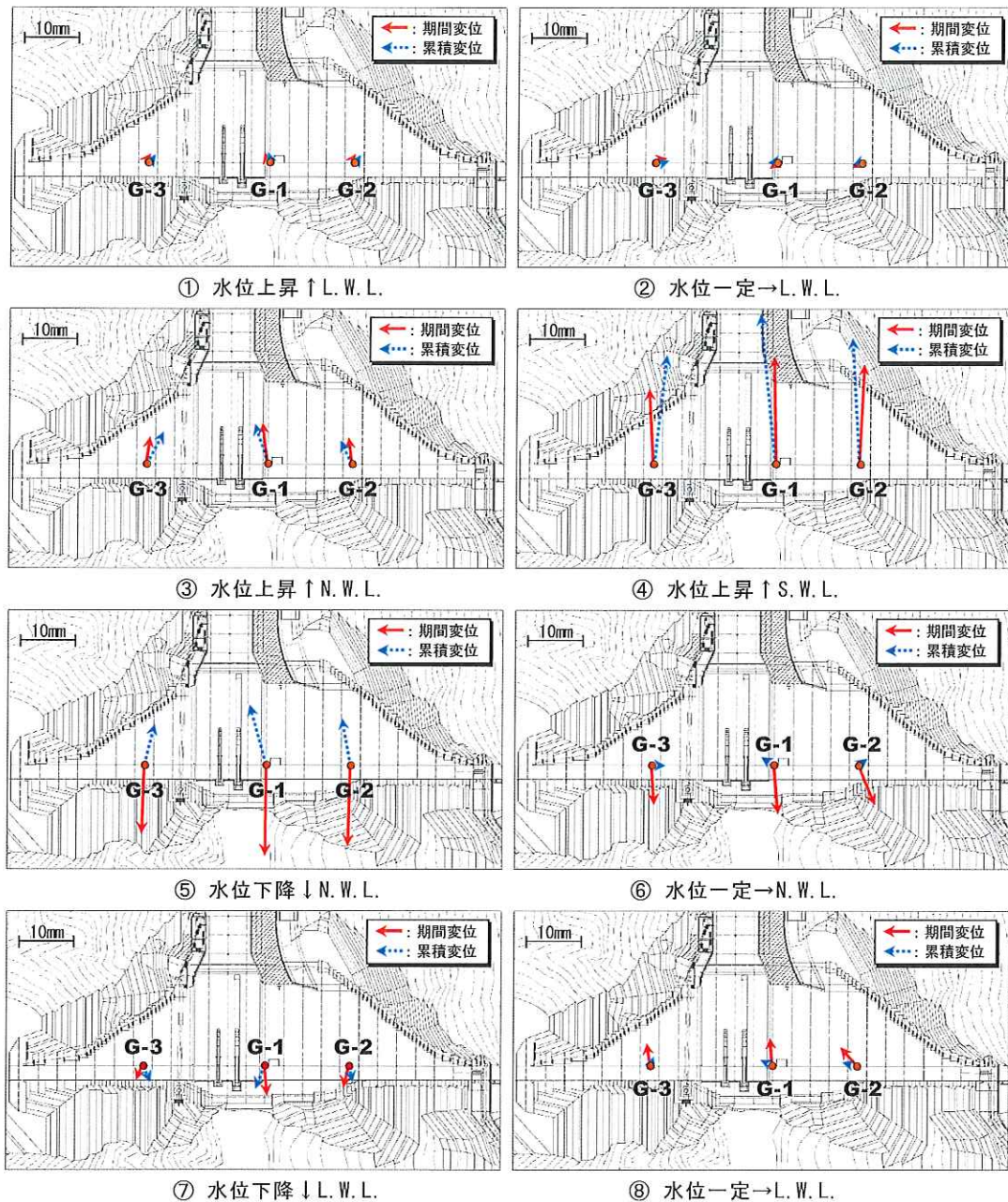


図-5 平面方向変位ベクトル

参考文献

- 1) (財) 国土開発技術研究センター編：改定 解説・河川管理施設等構造令、山海堂、pp.95～97、2000.1.
- 2) Norikazu SHIMIZU: Monitoring Rock Deformation Using Global Positioning System - Fundamentals, New Developments and Practical Applications -, Keynote Lecture at the 2009 Korea-Japan Joint Symposium on Rock Engineering, 2009.10.
- 3) 山口嘉一、小堀俊秀、横森源治、大野 誠、岩崎智治：GPSを用いたフィルダム外部変形計測に関する一考察、ダム工学、Vol.15、No.2、pp.120～136、2005.6.
- 4) Yoshikazu YAMAGUCHI, Toshihide KOBORI, Hitoshi YOSHIDA, Tadahiko SAKAMOTO,

Hideharu ITAYA and Tomoharu IWASAKI: Real-Time Monitoring of Exterior Deformation of Embankment Dams Using GPS, 23rd ICOLD Congress, 2009.5.

山口嘉一*



財団法人ダム技術センター
首席研究員（前 独立行政法人
土木研究所つくば中央研
究所水工研究グループ水工
構造物チーム上席研究員）、
博（工）
Dr. Yoshikazu YAMAGUCHI

小堀俊秀**



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所水工研
究グループ水工構造物
チーム 研究員
Toshihide KOBORI