

ゾーン型フィルダムにおける GNSS 自動変位計測システムの試行

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○家坂 佑希 岡澤 亮太
山本 優 松岡 翔太

1. 目的

ダム堤体の安全管理の一つに変位量の管理があるが、特に災害時は早急に計測し、ダムの変位を把握することが極めて重要である。

信濃川発電所では、ダムの定期的な変位測定をトータルステーション等により実施しているが、災害時における測量作業員の確保や、現場までの移動時間を課題と捉えている。これらの課題に対し、ダムの変位量を常時把握するため、GNSS による自動変位計測システム（以下、自動変位計測システム）を用いて検証した。

2. 計測方法と原理

検証の対象としたダムは、当発電所の所有するダムのうち、1日の水位変動が約8mと最も大きいダムとした（図-1、表-1参照）。また図-2に、自動変位計測システムによるシステム網を示す。測量方法は、スタティック法によりGNSSセンサーで座標を受信後、無線LANで基準点A（以下、A）の集約機にデータが集約される。集約されたデータは、LTE回線によりサーバーへ送信される。サーバーに集約されたデータは、計測精度を向上させるため、トレンドモデル処理により誤差補正を実施し、計測結果をWEB配信する。

トレンドモデル処理は、不規則な誤差を含んだ計測値から高精度に真の変位挙動を推定する確率構造をもった時系列解析モデル¹⁾を用い、経時変化を平滑化した。

また、電源の確保はコスト削減の観点から、太陽光パネルによる独立電源方式とした。

3. 測定結果の評価項目と評価方法

評価項目及び評価方法を表-2に示す。

GNSSセンサーの設置期間は、2021年9月28日から11月27日とした。

4. 評価

4.1 連続観測率

衛星～GNSSセンサー間の通信について、各点で長時間の停止や、太陽光パネルの発電量不足による欠測は



図-1 検証対象ダム

表-1 ダム諸元

所在地	新潟県小千谷市		
堤体	形式	ゾーン型フィルダム	
	竣工	1990(平成2)年6月	
	高さ	42.400m	
調整池	堤頂長	1,392.000m	
	総貯水量	3,640,000 m ³	
	有効水深	13.000m	

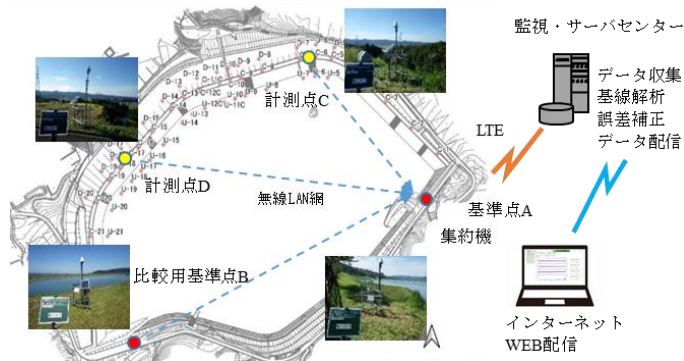


図-2 GNSS システム網

表-2 評価項目と評価方法

評価項目	評価方法	目標	
連続観測率	衛星～GNSSセンサー通信	受信状況、電源電圧状況	顕著な欠測無
	GNSSセンサー～集約機通信	通信強度	
	計測データ取得率	民間等電子基準点の級別基準を参考とし、24回/日×計測日の変位量算出数	90%以上
計測値誤差	GNSS観測での変位量(スタティック法)	変位量のばらつきをGNSS測量による標高の測量マニュアル(3級相当)を基準	水平±20mm 鉛直±40mm
	誤差低減後の変位量(トレンドモデル)	従来の計測方法の標準偏差	水平±3mm 鉛直±4mm
	基準点の適地性	比較用基準点Bとのスタティック法、トレンドモデル適用後の変位が各目標値以内	各目標値以内
	地震時の挙動(トレンドモデルは、解析に時間を要するため、スタティック法による観測とする)	変位前後の値より算出した変位量と、与えた変位量との差がスタティック法の較差以内。	水平±20mm 鉛直±40mm

認められず、正常に座標を計測できることが確認できた。

また、GNSSセンサー～集約機への通信強度は、Aでは、-51dBm、その他の計測点等では、-80～-95dBmと弱い強度であった。しかし、計測データに顕著な欠測は見受けられなかったため、通信は成立していると評価した。計測データの計算結果取得率は、観測初日を除き、90%以上であることを確認した。

4.2.1 計測値誤差(スタティック法)

1時間毎に計算した変位量をA、比較用基準点B（以下、B）、計測点C（以下、C）及び計測点D（以下、D）で座標等を計測し評価した。なおDについては、地震時の挙動を捉えることを目的として、強制変位前までの計測値で評価した。計測の結果、99%以上のデータは

キーワード 自動変位計測システム, GNSS, スマートメンテナンス

連絡先 〒947-0012 新潟県小千谷市山本316 東日本旅客鉄道株式会社 信濃川発電所 TEL 0258-82-4531

目標精度を満たしたため、実利用可能であることを確認した。

4.2.2 計測値誤差（トレンドモデル処理）

スタティック法で計測したデータに対し、トレンドモデルを適用し、誤差軽減後の変位量を評価した。なお、Dは変位機構の可動余裕部分が評価に影響するため、Cのみで評価した。検証の結果、両基準点での精度は一部を除いた3軸方向で、目標精度を満たしており、実利用に問題がないことを確認した。Aの鉛直方向のみ約5%程度であり、目標値を超えたため、基準点の適地性を検証した。

4.2.3 計測値誤差（基準点の適地性）

評価の結果を表-3に示す。トレンドモデル適用時の鉛直方向のみ精度外の計測点があることを確認した。

その要因として、遮蔽物の変化によるマルチパスが考えられる。Bは上空に顕著な障害物は認められないが、Aは周辺に落葉樹があることから、A、BからC、D間の計測結果を基に、計測開始と終了時の計測値の標準偏差を比較した。その結果、Bの標準偏差はAと比べて小さく、Aの計測開始と終了時の標準偏差は、終了時の偏差が小さかった。以上より、図-3のように、落葉が進むことにより、衛星からの信号受信が良好となり、トレンドモデルによる誤差軽減処理で、疑似的な変位が生じたと考えられる。

4.3 地震時の挙動

変位機構により強制的な変位をDに与え、変位前後の較差を評価した。災害時の早急なダムの安全管理のため、1時間ごとに変位量を算出するスタティック法の値で、目標精度を満たせるか検証した。

結果を表-4に示す。変位前後の値より算出した変位量と与えた変位量との差は目標を満たしており、地震による変動を抑えることを確認した。

5. まとめと今後の課題

ダムの計測データを高精度でリアルタイムに確認するため、自動変位計測システムを用いて検証した結果、全ての計測及び処理方法において、目標精度内の計測値が得られた。

今後の課題を表-5に示す。電源及び設置位置の課題については、マルチパスの影響を受けたAをダム近傍の事務所に設け、Bをダム側の基準点とした場合、Aに対流圏補正に必要な気象センサーを含むGNSSセンサーを設置する。Aについては、事務所の電源を使用し

表-3 各精度内に入った計測点数の割合

基準点A	比較用基準点B		
	北南	東西	上下
スタティック法	100.0	100.0	100.0
トレンドモデル処理	100.0	100.0	87.1

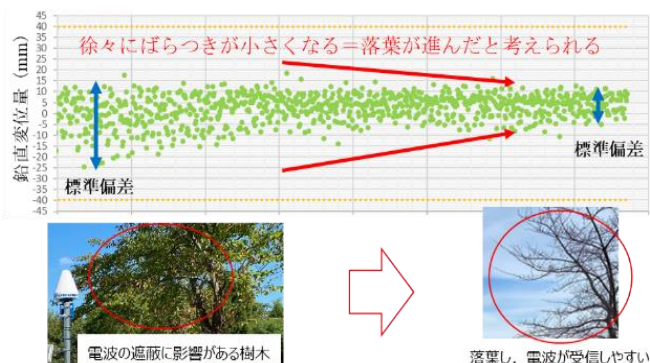


図-3 落葉樹による衛星信号受信への影響

表-4 疑似変位前後の変位量の比較（単位：mm）

	前1日計測値	強制変位量	直後			3時間後			
			計測値	変位量	較差	計測値	変位量	較差	
基準点A	北南	-3.1	-20.0	-18.9	-15.8	4.2	-21.9	-18.9	1.1
	東西	1.8	20.0	25.1	23.3	3.3	27.7	25.9	5.9
	上下	2.7	10.0	12.2	9.5	-0.5	13.2	10.5	0.5
	水平合成値	4.8	28.3	31.4	26.6	-1.7	35.3	30.5	2.2
	3次元合成値	8.2	30.0	33.7	25.5	-4.5	37.9	29.7	-0.3
比較用基準点B	北南	-3.3	-20.0	-16.3	-13.0	7.0	-24.5	-21.2	-1.2
	東西	2.8	20.0	25.0	22.2	2.2	28.0	25.2	5.2
	上下	0.9	10.0	12.1	11.2	1.2	12.2	11.3	1.3
	水平合成値	4.8	28.3	29.8	25.1	-3.2	35.5	30.7	2.4
	3次元合成値	6.2	30.0	32.2	26.0	-4.0	37.6	31.4	-1.4

表-5 今後の課題

No.	項目	課題
1	マルチパス（設置位置）	トレンドモデルの誤差低減は有効であるが、受信機の設置位置に留意が必要。
2	GNSS受信機の電源	積雪期を考え、商用電源での検証が必要。稀に別信号の混入によるノイズにより、信号受信システムに影響を及ぼす可能性がある。
3	集約機との通信アンテナ	指向性アンテナを用い、電波強度を高められるか確認が必要。
4	地震時の計測値	変位量のばらつきを考慮し、3計測分（3時間）以上の平均値での評価が望ましい。
5	冬季の設置方法	ダム堤体への受信機の設置方法、冬場のメンテナンス方法の検討が必要。

計測することで、Bとの精度差と商用電源でのノイズの発生による信号受信システムへの影響を検証できると考える。また、冬期（積雪期）の設置方法については、GNSSセンサーが積雪により電波が乱れ、観測精度が低下する可能性がある。そのため、積雪深や雪圧を考慮した設置構造とする必要があり、支柱部を積雪量により延長できるような構造が望ましいと考える。

参考文献

- 1) 清水則一，安立寛，小山修治：GPS変位モニタリングシステムによる斜面変位計測結果の平滑化に関する研究，資源と素材，Vol.114，pp.397-402，1998