

多点 GNSS 計測および重回帰分析によるアーチダム堤体変形挙動の分析

国際航業(株) 正会員 ○佐藤 信光 正会員 加藤 大佑
電源開発(株) 正会員 中山 義紀

1. はじめに

アーチ式コンクリートダムでは、左右岸のアバットの影響も含めた堤体の3次元変形挙動を把握することが重要である。一方、ダムの安全管理において、ダムの堤体変形を計測する技術としてGNSSの導入が進められている¹⁾。本検討では、GNSSが有する多点、3次元、高精度、毎正時計測の特徴を活用して、アーチダムの堤体天端の3測点、3方向のGNSS値を水位および温度をパラメータとして重回帰分析し、相関性の高い重回帰分析値から水位影響分ならびに温度影響分の堤体変形量をそれぞれ求め、水位および温度に対する堤体変形の影響を分析した²⁾。

2. 対象ダムとGNSS計測

対象としたAダムは、堤高82mのアーチダムで、図-1に示すようにGNSSを堤体天端の3箇所に設置し、計測を行っている。図-2にGNSS値(G-2)①および貯水位の経時変化を、図-1に2019/1/1~2019/8/19間のGNSSの変位ベクトルを示す。

3. 堤体変位の重回帰分析

重回帰分析は、堤体変位を目的変数(DY)とし、水位および温度を説明変数(X)として、最も相関性の高い偏回帰係数(a)を求めるものである。説明変数に関しては、他にも日射量や堤体コンクリート温度の内外差、貯水温分布なども堤体変位の影響要因として考えられるが、全ての期間の記録が得られ、かつ影響がより支配的と考えられる貯水位と外気温に絞ることとした。さらに、外気温についても、堤体への熱伝導や蓄積の影響を考慮して当日の外気温のみならず当日までの一定経過期間の平均外気温群を複数の説明変数として設定し、ステップワイズ法³⁾を用いて簡便に相関性の高い偏回帰係数が同定できるようにした。

重回帰分析の式[1]は、堤体変位量を目的変数(DY)とし、当日の水深や各平均外気温群を説明変数(Xi)、これに該当する偏回帰係数(ai)、そして残差の定数項をbとしたものである。目的変数(DY)はGNSS値であり、式[1]、各変数ならびに係数の一覧を表-1に示す。G-2(上下流変

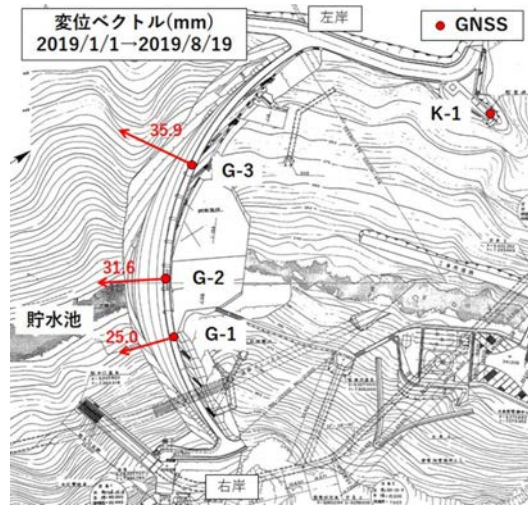


図-1 ダム平面とGNSS変位ベクトル

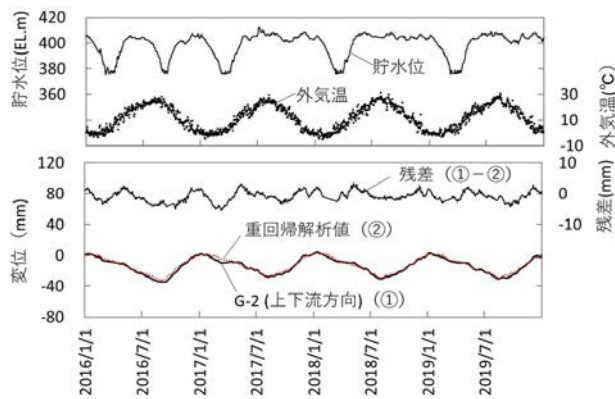


図-2 GNSS値(G-2)と重回帰分析結果

表-1 堤体変位の重回帰分析結果の一覧

要因	説明変数	係数	偏回帰係数									
			上下流方向			ダム軸方向			鉛直方向			
			G-1	G-2	G-3	G-1	G-2	G-3	G-1	G-2	G-3	
水位	X1 水深:H(m)	a1	1.697	0.204	-0.508	0.000	-0.174	-0.403	-0.287	-0.162	-0.163	
	X2 水深:H^2(m^2)	a2	-0.016	0.000	0.008	0.001	0.002	0.004	0.003	0.002	0.002	
温度(°C)	X3 前1-1日平均	a3	0.000	-0.138	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	X4 前2-5日平均	a4	-0.114	-0.225	-0.221	0.132	0.049	0.000	0.052	0.101	0.083	
	X5 前6-10日平均	a5	0.000	-0.303	-0.272	0.000	0.000	0.000	0.065	0.130	0.080	
	X6 前11-20日平均	a6	0.000	-0.290	-0.340	0.000	0.000	0.000	0.040	0.082	0.109	
	X7 前21-30日平均	a7	-0.231	-0.195	-0.359	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	X8 前31-45日平均	a8	-0.309	0.000	0.000	0.000	0.030	-0.105	0.063	0.000	0.000	
	X9 前46-60日平均	a9	0.000	0.000	0.278	0.136	0.000	0.000	0.000	0.043	0.000	
	X10 前61-90日平均	a10	-0.148	0.000	-0.614	-0.264	0.000	0.208	-0.043	-0.094	-0.049	
	X11 前91-120日平均	a11	0.459	0.000	0.565	0.198	0.000	-0.155	0.064	0.120	0.081	
	残差の定数項		b	-46.23	-12.51	-4.55	-9.15	-0.01	17.65	3.11	-2.07	-1.34
	決定係数		R ²	0.945	0.975	0.966	0.889	0.894	0.106	0.945	0.962	0.967

重回帰分析期間 2016/1/1~2019/12/31

$$DY = \sum_{i=1}^{11} (ai * Xi) + b \quad [1] \quad D2 = D1 - \sum_{i=3}^{11} (ai * Xi) \quad [2]$$

$$目的変数(DY): 堤体変位量(GNSS値) \quad D3 = D1 - \sum_{i=1}^2 (ai * Xi) \quad [3]$$

説明変数(Xi): 水深、温度

(D1): GNSS値
(D2): 水位影響分の堤体変形量
(D3): 温度影響分の堤体変形量

キーワード GNSS, GPS, アーチダム, 堤体変形, 重回帰分析

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

位)①の重回帰分析の結果を図-2に示す。G-2のGNSS値①と重回帰分析値②は、決定係数 $R^2=0.975$ と高い相関性を示した。3測点、3方向のGNSS値の重回帰分析の結果を表-2に示すが、それぞれ高い相関性を示している。

次に、堤体変位の重回帰分析の結果に基づいて、水位影響分の堤体変位量(D2)を式[2]から、温度影響分の堤体変位量(D3)を式[3]から算出した。G-2(上下流変位)における貯水位に対するGNSS計測値(D1)の相関ならびに水位影響分の堤体変位量(D2)の相関を図-3(上)に示すが、温度の影響を除去することによって(D2)は明瞭な貯水位との相関関係を示した。また、G-2(上下流変位)における外気温に対するGNSS計測値(D1)の相関ならびに温度影響分の堤体変位量(D3)の相関を図-3(下)に示すが、水位の影響を除去しても(D1)と(D3)で相関関係にあまり差を生じていない。G-2(上下流方向)の変位の要因は水位よりも温度の影響がかなり大きいことが考えられる。

4. 水位および温度影響分の堤体変位の分析

GNSSの3測点における3方向の堤体変位量を重回帰分析し、その結果から水位影響分および温度影響分の堤体変位量を算出し、貯水位ならびに温度との相関を求め、その平均値と合わせて図-4に示す。上下流変位は水位分より温度分の影響が大きく、水位分のみの相関では $G3>G2>G1$ の順の影響度となった。ダム軸変位では温度分より水位分の影響が少し大きく、水位分のみの相関では $G1>G2>G3$ の順の影響度となった。鉛直変位は殆ど温度分の影響で少し水位分の影響が見られた。以上のように、堤体の中央に対して左右岸堤体では水位影響分や温度影響分の堤体変位量は貯水位や外気温の相関や影響度に異なる傾向がみられた。

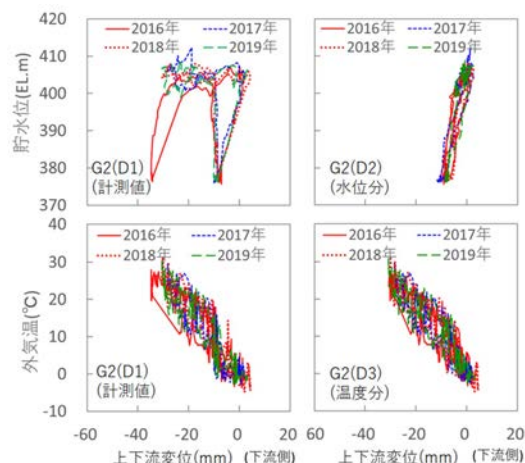


図-3 計測値, 水位, 温度影響分の相関

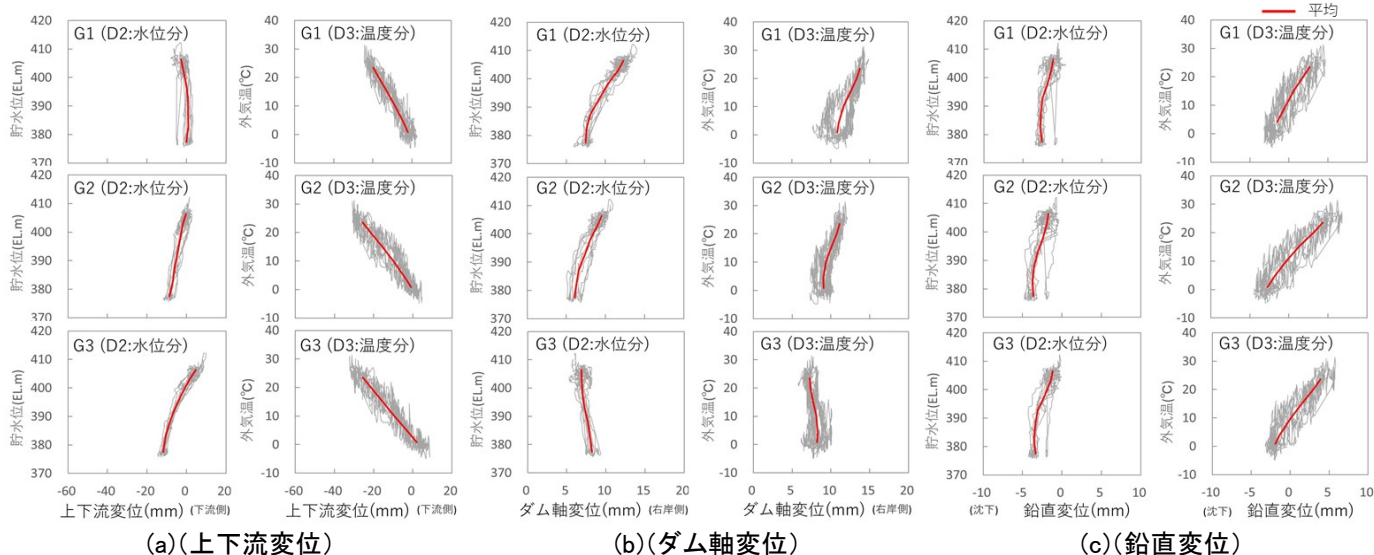


図-4 重回帰分析による水位および温度影響分の堤体変位量と貯水位ならびに外気温の相関

5. まとめ

多点GNSS計測による実測値を重回帰分析することによって、これまで把握することが難しかった左右岸アバットの影響も含めたアーチダム堤体の3次元変形挙動の実態を把握した。本ダムの堤体変位挙動は安定して推移しており、今後とも、GNSSを活用してダムの安全管理の高度化・合理化を進めていきたい。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 中山義紀,田中孝昌,佐藤信光：多点GPS計測によるアーチダム堤体変形挙動の要因分析,電力土木,2021.7.
- 3) M. EFROYMSON, Multiple regression analysis, Mathematical Methods for Digital Computers, 1, 191-203.1960.