

画像解析によるダム堤体挙動計測手法に関する研究

アイドールエンジニアリング(株) 正会員 ○出原 理
(株)ベーシックエンジニアリング Deng Zhaohui
(独) 土木研究所 正会員 小堀 俊秀
(独) 土木研究所 正会員 山口 嘉一

1. はじめに

フィルダムの安全管理のための最重要計測項目の一つである外部変形量の計測は、光波測量と水準測量により行われている。また、外部変形量の測定頻度は、測量作業の繁雑さもあり、試験湛水（管理第Ⅰ期）中でも1日に1回、ダムの挙動が安定した定常状態に達した後の管理第Ⅲ期では、3ヶ月に1回としている。そのため、地震後などの非常時において直ちに外部変形量を計測する必要が生じて、必ずしも迅速に対応できないという課題がある。

本研究では、地震後の迅速な対応が可能で比較的安価で手軽に行えるフィルダムの外部変形量計測手法の開発を目的に、市販のデジタルカメラを用いた画像解析法に着目し、堤体変形挙動計測への適用性と解析精度を検証するための試験を実施した。

2. 試験方法

試験は、土木研究所構内の試験走行路のバンクをフィルダム堤体の斜面に見立て、ここに基準点および検査点となる標的(直径120mm)を59個設置して行った。カメラの撮影位置は、カメラと対象物の距離が20、40、60m、ペアとなるカメラの設置間隔が20、40、100、200mとなるように定めた(図-1 参照)。使用したカメラは、1200万画素(4256×2848ピクセル)のCCDカメラで、多焦点レンズを使用して撮影を行った。

表-1に試験の概要を示す。基本試験は、写真測量で一般的に行われている被写体(対象物)に基準点を設置した場合の試験である。この方法は、被写体が移動する可能性がある場合には適さないため、被写体に基準点を設置しない方式(標尺設置試験)を新たに考案した。

この標尺設置試験は、カメラ近傍に基準点となる標尺を設置し、これをもとに検査点の位置を求めるものである。1本の標尺には合計11個の基準点があり、これをカメラ近傍3m程度のところに2本設置し被写体とともに撮影し、解析を行うものである。

対象物移動試験は、上記の標尺方式を採用し、被写体に移動可能な標的を使って対象物を移動させ、その移動量を解析する試験である。対象物の移動量(mm)は、以下のとおり実施した。

水平(X),鉛直(Y)方向：
0→1→2→5→10→25→10→5→0
奥行き(Z)方向：0→1→2→5→10→25→10→5→0

3. 解析手法

解析は、各撮影画像の標尺、標的について、重心位置座標を算出した後、以下に示す手順・手法で、単写真解析とステレオ写真解析を行った。

1) 単写真解析(試験3)
標尺の任意の基準点4点の重心位置座標をもとに、各画像の位置あわせを行い、各標的の相対的な挙動値(ピクセル)を算出する。次に、各標的位置における画像分解能を算出し、検査点の移動量を算出する。

表-1 試験の概要

試験名		基準点	検査点	解析手法	解析精度の検証方法
1	基本試験	標尺7点	残りの標的	ステレオ写真解析	検査点の解析座標と測量座標との差
2	標尺設置試験	標尺22点	全標的	ステレオ写真解析	
3	対象物移動試験	標尺22点	移動可能な標的(S14の位置)	単写真解析 ステレオ写真解析	基準の位置からの相対変位

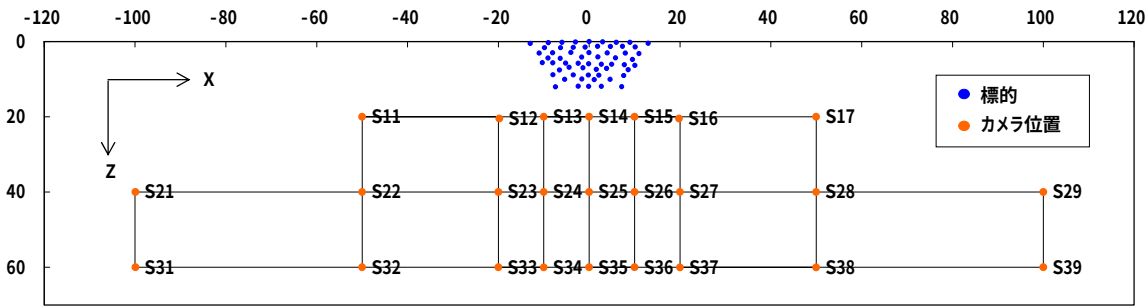


図-1 カメラと標的の配置平面図 (m)

キーワード ダム堤体挙動計測, 画像解析, 写真計測

連絡先 〒160-0011 東京都杉並区梅里 1-7-7 新高円寺ツインビル 3F アイドールエンジニアリング(株) 設計部
TEL03-5306-1704 E-mail: o-idehara@idowr.co.jp

2) ステレオ写真解析(試験 1~3)

自己校正つきバンドル調整法により各標的の地理空間座標を計算する^{1), 2), 3)} (表-2 参照)。次に、計算した各標的の挙動値を算出する。

4. 解析結果

ステレオ写真解析を用いた基本試験と標尺設置試験の各撮影位置での計測精度を表-3, 4 に示す。基本試験における解析精度は、2~6mm 程度であるが、標尺設置試験の解析精度は、2~9mm 程度と基本試験に比較し、特に奥行き(Z)方向で若干精度が低下している。

対象物移動試験については、S24(S26)の結果を図-2, 3 に示す。X, Y 方向の解析精度(相対変位)は、単写真解析で 2.5mm 程度、ステレオ写真解析で 1mm 程度となっている。

5. 考察

- (1) 今回の試験では、画素数 1200 万画素のカメラを使用し、標的の直径が 120mm の条件で試験を行った。解析結果から、mm オーダーでの解析精度が期待できる条件は、画像上の標的の解像度が 10 ピクセル以上あることが必要で、これに相当するカメラと対象物の距離は 50m 程度という結果となった。50m より長い距離の計測に関しては、画素数を多くする、標的の大きさを大きくするなどの対応が必要である。
- (2) 標尺設置試験の解析精度は、2~9mm 程度で、基本試験の 2~6mm 程度の解析精度に比較し、特に奥行き(Z)方向で若干精度が低下している。
- (3) 対象物移動試験においては、基準となる位置からの相対変位で精度の検証を行った。X, Y 方向の解析精度は、結果を示していない他の位置での解析結果も含めて、単写真解析で 2.5mm 程度、ステレオ写真解析で 2mm 程度となっている。基本試験・標尺設置試験の絶対変位での解析精度に比較し、相対変位とすることで精度が向上している。
- (4) 解析精度の向上には、単焦点レンズの使用、カメラ位置の固定、ネットワーク強度の確保⁴⁾ 等が必要であり、今後検討を進めていきたい。

参考文献

- 1) Granshaw : Bundle adjustment methods in engineering photogrammetry, Photogrammetric Record, 10(56), pp.181-207, 1980.
- 2) 秋本圭一・服部進 : 画像計測の基礎, 岡山職業能力開発短期大学校紀要, 第11号, pp23-38, 1997.
- 3) 秋本圭一・服部進 : 工業写真計測における共線方程式, 香川職業能力開発短期大学校紀要, 1999.
- 4) 服部進・三浦悟・秋本圭一・大西有三 : 画像計測による斜面変位モニタリング, 土木学会論文集, No.805/VI-69, pp.35-45, 2005.

表-2 解析パラメータと計算方法

パラメータ		計算方法
対象点座標	(X, Y, Z)	2) の手法で算出する。
主点位置	(X0, Y0)	実験室で精密校正された結果から算出する。
内部標定要素	画面距離	
要素	C	自己校正つきバンドル調整法により算出する。
要素	レンズ歪み係数	
外部標定要素	A, B, K1, K2, K3, P1, P2	実地測量した標尺と標的の座標値から算出する。
要素	撮影位置	
要素	(XS, YS, ZS)	自己校正つきバンドル調整法により算出する。
要素	撮影角度	
要素	ω, ϕ, κ	

表-3 基本試験の計測精度(RMSE:mm)

RMSE (mm)		ペアとなるカメラの設置間隔: 基線長 (m)								
		20			40			100		
		X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
カメラと 対象物の 垂直 距離 (m)	20	2.939	4.658	2.432	2.985	1.297	2.025			
		S13-S15			S12-S16					
	40	2.817	4.705	4.949	3.594	1.219	4.772	3.954	2.132	3.358
		S24-S26			S23-S27			S22-S28		
	60	2.470	3.767	5.573	1.862	1.984	4.531	5.910	3.051	5.209
		S34-S36			S33-S37			S32-S38		

表-4 標尺設置試験の計測精度(RMSE:mm)

RMSE (mm)		ペアとなるカメラの設置間隔・基線長 (m)								
		20			40			100		
		X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
カメラと 対象物の 垂直 距離 (m)	20	4.200	9.196	8.484						
		S13-S15								
	40	2.455	3.530	5.905	2.740	4.675	6.225			
		S24-S26			S23-S27					
	60	2.706	4.328	8.411	2.116	1.759	6.988	8.459	2.217	6.154
		S34-S36			S33-S37			S32-S38		

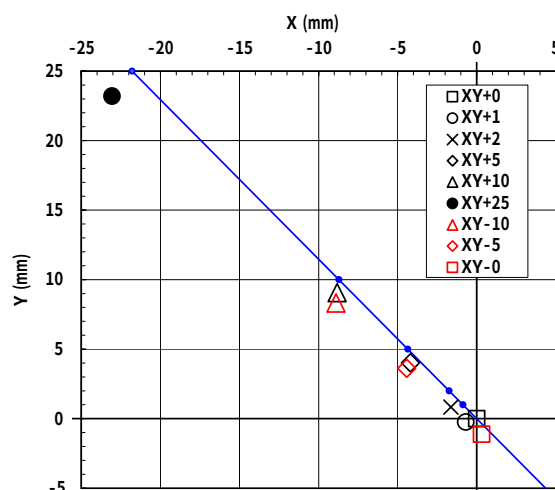


図-2 移動量の解析結果(S24:単写真)

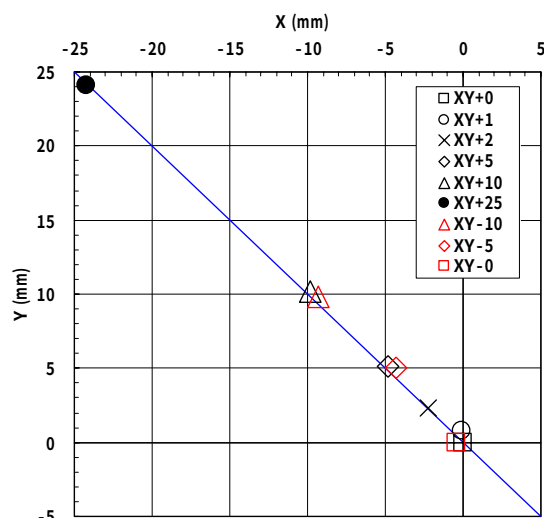


図-3 移動量の解析結果(S24-26:ステレオ写真)