

ケーブルカムに搭載した 3D スキャナによる出来形測定の研究

株式会社熊谷組 正会員 ○五反田健次
 株式会社熊谷組 フェロー会員 佐藤 英明
 株式会社熊谷組 正会員 古川 敦
 株式会社熊谷組 正会員 竹下 嘉人

1. はじめに

土工事の施工において出来形は重要な施工管理項目である。近年では空中写真測量やレーザスキャナなどによる 3 次元データが用いられるのが主流となっている。また、フィルダムなどの大規模土工事においては広域なエリアを迅速に行える UAV (Unmanned Aerial Vehicle : 以下、ドローンと称す) が有効な手段として用いられ始めているが、ドローンは天候 (強風、降雨等) や人・物件との距離の確保 (30m 以上) などの制約を受ける場合がある。一方、ダム現場における出来形管理は、基本的にはダム軸に沿った堤体近傍を行えば良いと言える。そこで今回、ダム軸と平行に架設したワイヤーに可搬型レーザスキャナ (以下、3D スキャナと称す) を搭載したケーブルカムを走行させ、制約を受けることなく出来形管理を実施することができる設備の開発を考案した。

本研究では、ケーブルカムに搭載した 3D スキャナとデジタルカメラで測定を実施し、精度および点群幅を比較検証し、3D スキャナによる出来形管理が実用化できることを確認した。以下にその概要を示す。

2. 室内試験概要

(1) 室内試験概要

室内 (当社技術研究所) で、地上 6m に架設した延長 28m のワイヤーに 3D スキャナおよびデジタルカメラを搭載したケーブルカムを走行させ測定を行う。水平床面に 0.5m 四方の標定点および 5m×10m の測定ターゲットを設置して測定し、固定 3D スキャナと移動 3D スキャナおよびデジタルカメラを使用した写真測量との精度の差を確認する。また、ケーブルカムの移動速度に変化を付け、屋外使用を想定してワイヤーに縦揺れおよび横揺れを与えて測定し、測定結果の比較を行う。測定機器搭載状況を写真-1、室内試験概要を図-1、ケーブルカム仕様を表-1、室内試験 Case を表-2 に示す。

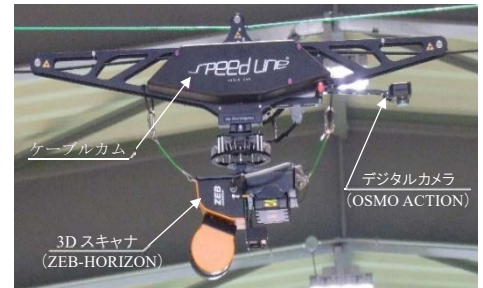


写真-1 測定機器搭載状況

測定機器搭載状況を写真-1、室内試験概要を図-1、ケーブルカム仕様を表-1、室内試験 Case を表-2 に示す。

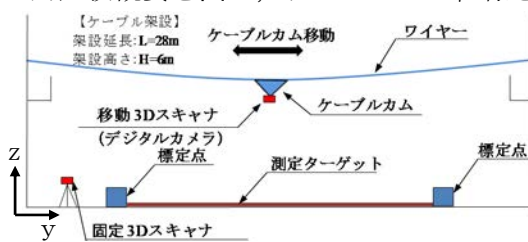


図-1 室内試験概要

表-1 ケーブルカム仕様

メーカー	Speed Line
型式	cable cam SPL_ATC17
寸法、重量	寸法：長さ1,040mm、高さ270mm、幅260mm 重量：6.5kg
耐荷重	15kg (10kg)
最高速度	48km/h
最大上昇角度	10%
ロープ	径：8mm、長さ：180m

表-2 室内試験 Case

Case	移動速度 (km/h)	振動
Case1	1.5	なし
Case2	3.0	なし
Case3	5.0	なし
Case4	1.5	縦揺れ
Case5	3.0	強い縦揺れ
Case6	1.5	横揺れ
Case7	3.0	強い横揺れ

(2) 測定機器

比較検証する測定機器を表-3 に示す。固定 3D スキャナ (Trimble 社製 SX10) は地上から測定、移動 3D スキャナ (GeoSLAM 社製 ZEB-HORIZON) およびデジタルカメラ (DJI 社製 OSMO ACTION) はケーブルカムに搭載し、移動しながら標定点および測定ターゲットを測定した。デジタルカメラは SfM 解析を実施した。

3. 測定結果

キーワード ダム現場, 出来形管理, ケーブルカム, 3D スキャナ, 測定精度

連絡先 〒162-8557 東京都新宿区津久戸町 2-1 (株)熊谷組土木事業本部 TEL 03-3235-8622

(1) 3D スキャナ (ZEB-HORIZON)

① 標定点の残差 (SX10 の測定値を正とした誤差)

測定した点群を図-2 に示す. 赤枠で示した箇所は点群の補正に使用する標定点であり, 黄色丸で示す 4 点の座標を用いて点群の補正を実施した. 測定した標定点の残差平方和を表-4 に示す. 残差平方和の最大値が 30mm 以下となり, 良好な測定結果となった.

② 床面高さ (Z 方向の点群幅)

緑枠で示した 3m×8.5m の範囲の点群を抽出し, Z 方向のばらつきを検証した. 各 Case の点群幅を表-4, ヒストグラムを図-3 に示す. Z 方向のばらつきは最大 18mm であり, 良好な測定結果となった.

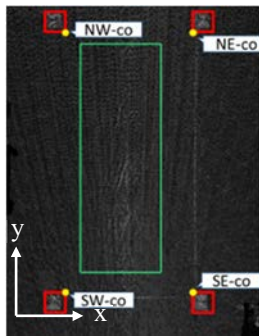


図-2 測定点群

表-4 測定結果一覧 (ZEB-HORIZON)

(単位: mm)

Case	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case6	Case7
移動速度 (km/h)	1.5	3.0	5.0	1.5	3.0	1.5	3.0
振動	-	-	-	縦	強縦	横	強横
残差平方和	SW-co	14.3	14.8	18.9	4.9	10.4	18.0
	NW-co	17.5	26.5	15.6	9.8	13.4	29.8
	NE-co	6.5	14.4	25.1	9.2	7.2	28.1
	SE-co	24.3	13.1	11.1	8.3	10.5	10.2
Z方向 点群幅	15.0	18.0	18.1	14.8	16.9	16.3	16.2

表-3 比較測定機器

測定方式	3Dスキャナ	3Dスキャナ	デジタルカメラ
メーカー 機種名 外観	Trimble SX10 	GeoSLAM ZEB-HORIZON 	DJI OSMO ACTION 
測距方式	Time Of Flight	Time Of Flight	-
計測方法	静止計測	移動型計測	-
計測範囲 水平角×鉛直角	360°×300°	360°×270°	-
測定距離 (反射率90%) (m)	0.9~600	~100	-
測定速度 (点/秒)	最大266,000	300,000	0.5秒~125秒間隔
スキャニング精度	2.5mm	10~30mm	-
解像度 (最大)	1.25mm@10m	12mm@10m	4000×3000ピクセル

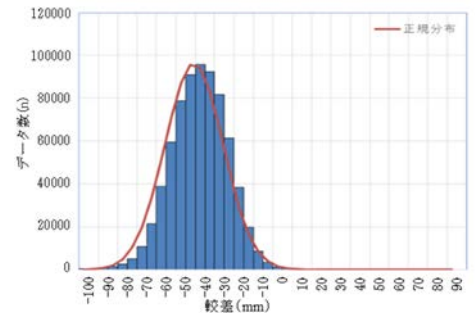


図-3 Z方向ヒストグラム (Case1)

(2) デジタルカメラ (OSMO ACTION)

① 標定点の残差 (SX10 の測定値を正とした誤差)

測定した点群を図-4 に示す. 3D スキャナと同様に赤枠で示した標定点を用いて点群の補正を実施した. 測定した標定点の残差平方和を表-5 に示す. 測定 (撮影間隔 1 秒) した残差平方和の最大値が 44mm となり, ばらつきが生じた. なお, Case2,3,5 は画像が繋がらず, 解析不能となった. 原因については, ケーブルカムの移動速度が速く撮影間隔が長いため, カメラ位置推定に失敗したと考えられる.

② 床面高さ (Z 方向の点群幅)

3D スキャナと同様に緑枠で示した範囲で点群を抽出し, Z 方向のばらつきを検証した. 各 Case の点群幅を表-5, ヒストグラムを図-5 に示す. Z 方向のばらつきは, Case1,4 では 30mm 程度に対して Case6,7 は 130mm 以上と大きくなった. 原因については, 横揺れにより焦点不良が多く発生しているとともに, カメラの向きが安定しないことで点群全体が歪むことによるものと考えられる.

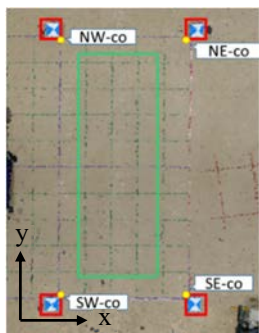


図-4 測定点群

表-5 測定結果一覧 (OSMO ACTION)

(単位: mm)

測定項目	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case6	Case7
移動速度 (km/h)	1.5	3.0	5.0	1.5	3.0	1.5	3.0
振動	-	-	-	縦	強縦	横	強横
残差平方和	SW-co	12.3	-	-	2.2	-	24.9
	NW-co	7.8	-	-	6.1	-	12.1
	NE-co	13.2	-	-	7.7	-	14.0
	SE-co	13.2	-	-	4.1	-	25.7
Z方向 点群幅	26.5	-	-	35.4	-	131.7	

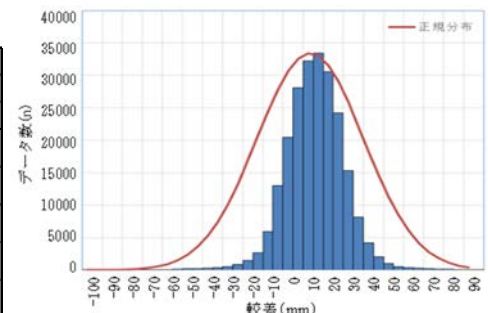


図-5 Z方向ヒストグラム (Case1)

4. まとめ

室内試験で 3D スキャナの測定値は, デジタルカメラと比較してケーブルカムの走行速度, 縦揺れ, 横揺れの影響をほとんど受けることがなかった. そのため, 屋外で使用しても風による振動が測定に影響を与えないと考えられる. 今後は, 実際の現場で実証試験を行うことにより, 実用化を図る予定である.