各種 UAV 機器による出来形精度検証実験について（その１）

株式会社熊谷組　正会員　○東舘 昌吾　正会員　神﨑 恵三
中日本航空株式会社　高市　善幸　皆木 美宣

１．背景

UAV を用いた測量は，UAV やデジタルカメラの性能向上，また SfM（Structure-from-Motion）ソフトウェアの普及により，現場管理ツールとして現場適用事例が増加している．空中写真測量は，レンズキャリブレーションや対空標識の設置，ラップ率の設定など熟練者でないと実作業は困難である等の欠点があるが，比較的低コストである．一方，無人航空機搭載型レーザスキャナによる測量は，飛行に高度な技術が要り，コストが高いといった欠点はあるものの，伐採前の測量が可能で，かつ精度の面で使用される頻度が増えつつあるのが現状である．

今回，無人航空機搭載型レーザスキャナで取得した点群（以下 LP 点群）や空中写真測量（無人航空機）で取得した点群(以下 SfM 点群)を使用して，各種ケースで飛行し，出来形精度検証の比較を実施したので報告する．

２．使用機材

今回使用した UAV 機器は 5 種類で，**表-1** に仕様を示す．

表-1　ＵＡＶ使用機器一覧

無人航空機搭載型レーザスキャナ			空中写真測量（無人航空機）	
①Ranger Series （RIGEL VUX-1）	②Ranger Series （RIGEL miniVUX-1）	③Alpha Series （Velodyne VLP-16）	④MATRICE600pro （Sony α7R）	⑤Phantom4Pro （DJI製）
最大測定距離920m	最大測定距離250m	最大測定距離100m	カメラ有効画素数 約3640万画素	カメラ有効画素数 約2000万画素
最短距離　3m	最短距離　3m	最短距離　1m	シャッタースピード 1/8000~30秒	シャッタースピード 1/8000~8秒
測定精度　10mm	測定精度　15mm	測定精度　30mm	ISO感度 AUTO（100-6400）	ISO感度 AUTO（100-3200）
有効測定レート 500,000測定/秒	有効測定レート 100,000測定/秒	有効測定レート 300,000測定/秒	センサーサイズ 36mm×24mm	センサーサイズ 13.2mm×8.8mm

３．実証実験場所

実証実験は，処分場現場の法面 2 箇所を使用して実施した．法面 1 に対して断面 1 を，法面 2 に対して断面 2 を任意に設定した．法面の 4 隅に標定点を設置し，検証に用いるデータは，この標定点に整合させた（**図-1**）．

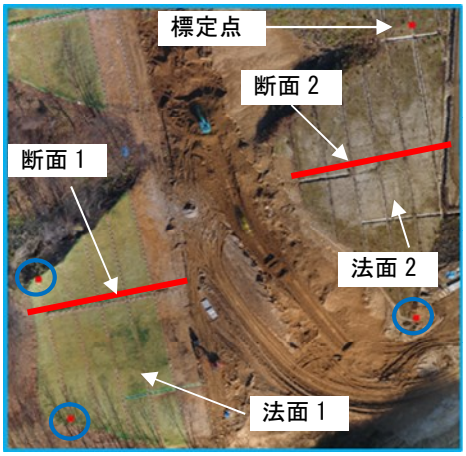

図-1 法面と断面位置図

４．飛行パターンと実証実験方法

法面 1,2 に対して**表-2** の飛行高度で飛行を実施した．高度は法面からの高さで，法面に平行に飛行し，飛行ルートはオーバーラップ 90%，サイドラップ 60%とした．実証実験は，断面 1,2 に対し，別途 TS で測量した法面形状を基準法面とし，それぞれの機器で取得された LP 点群と SfM点群から作成された断面を法面上に重ね合わせ，比較検証した．

キーワード：無人航空機搭載型レーザスキャナ，空中写真測量（無人航空機），LP 点群，SfM 点群
連　絡　先：〒980-0011　宮城県仙台市青葉区上杉 5 丁目 3 番 36 号（株）熊谷組東北支店　TEL022-262-2815

© Japan Society of Civil Engineers

表-2　法面における各機材の飛行高度

使用機器	法面1･2　飛行高度	備　　考
①VUX-1	30m　50m　100m	計測点密度10cmに1点以下
②miniVUX-1	30m　50m　100m	〃
③VLP-16	30m　50m　100m	〃
④α7R	20m　30m　60m	地上解像度：1cm以下
⑤Phantom4Pro	20m　30m　60m	地上解像度：約0.5cm～1.6cm

５．実証実験と考察

実証実験①《同一高度による比較》：法面 1，2 に対し，全使用機器を高さ 30m で飛行し，結果を断面 1，2 で比較した．断面 2 の結果を示す．LP 点群では，VUX-1，miniVUX-1，VLP-16 の順に断面形状のばらつきが目立つ傾向にあるが，どの手法においても断面形状を捉えられていた（VUX-1 の結果を**図-2** に示す）．一方，SfM 点群は、どちらの手法でも実測断面の形状をよく捉えていることが分かった（α7R の結果を**図-3** に示す）．また，TS 測量値と，LP 点群及び SfM 点群から取得した近似点との標高較差を法肩と法尻で比較した結果を**表-3** に示す．比較した近似点のほとんどは実測点よりも高い傾向にあった．平均値では，miniVUX-1 が平均値 0.083mm と他と比べ高い値であるが，どの手法においても標準偏差が 0.05m 以内と高精度であることがわかった．

実証実験②《高度の違いによる比較》：法面 1，2 に対し，全使用機器を 3 種類の飛行高度で飛行し，飛行高度による違いを検証した．LP 点群では，断面 1，2 とも VUX-1 の断面は高度による影響が見られない（**図-4**）のに対して，その他の LP 点群は，高度ごとに形状が異なることがわかった．SfM 点群は，対地 20m 及び 30m で作成された断面形状には大きな違いが見られない．対地 60m で作成した断面は，形状は再現できているがばらつきがあるものの，大きな誤差ではなく 0.05m 程度であった．また，側溝の形状についても再現性が異なった．両点群とも側溝の再現性については，低高度はできているが，高高度になるにつれ溝の再現が難しくなり，丸みを帯びた実際の形状とは異なる結果なった（α7R の結果を**図-5** に示す）．

６．まとめ

・VUX-1 とα7R は平均値や標準偏差の結果から,同等の精度であると考えられ,全手法とも，平均較差が 0.066m 以内，標準偏差が 0.051m 以内と精度の良い結果を得られた．

・SfM 点群においては,標定点を 4 点しか設置していないことを考慮すると，標定点の数により精度向上が見込まれる．高精細なデータが必要とされる場合は，VUX-1 やα7R といった上位機種を使用する必要性があるが，そうではない場合では，その他の機材でも十分な成果が得られ，植生の影響がない現場においては，低コストの Phantom4Pro でも十分対応できるといえることがわかった．

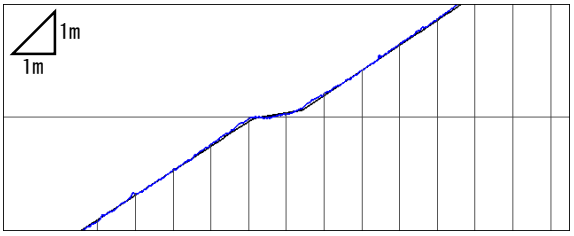

図-2 VUX-1 対地 30m 断面抜粋（断面 2）

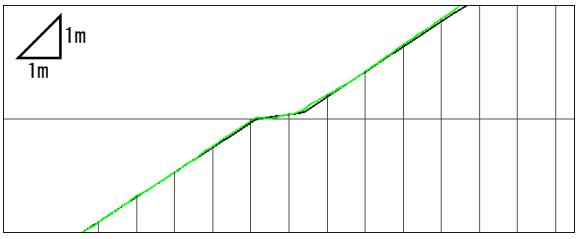

図-3　α7R 対地 30m 断面抜粋（断面 2）

表-3　各実測点の平均較差と標準偏差（断面 2）

	VUX-1 30m	miniVUX-1 30m	VLP-16 30m	α7R 30m	Phantom4Pro 30m
法尻①	0.030	0.110	−0.032	0.043	−0.016
法肩②	0.045	0.049	0.011	0.011	−0.070
法尻②	0.091	0.128	0.083	0.088	0.080
法肩③	0.032	0.089	0.039	0.046	−0.006
法尻③	0.121	0.089	0.026	0.064	0.051
法肩④	0.054	0.053	0.022	0.070	−0.002
法尻④	−0.066	0.094	0.076	0.093	0.068
法肩⑤	0.014	0.044	−0.052	0.041	−0.016
法尻⑤	0.049	0.091	0.048	0.072	0.015
法肩⑥	0.093	0.101	0.103	0.130	0.045
法尻⑥	0.027	0.119	0.035	0.051	0.034
法肩⑦	0.015	0.037	0.065	0.053	0.025
法肩⑦	0.039	0.103	0.138	0.075	0.041
法肩⑧	0.055	0.122	0.084	0.104	0.047
法肩⑧	0.003	0.019	0.004	0.045	−0.013
平均	0.040	0.083	0.043	0.066	0.019
標準偏差	0.044	0.034	0.050	0.030	0.039

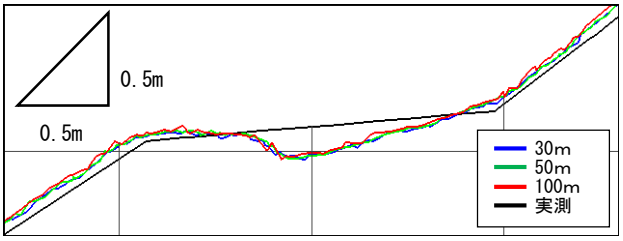

図-4　VUX-1 対地高度別比較断面抜粋（断面 2）

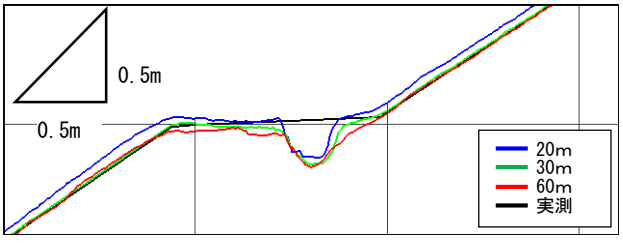

図-5　α7R 対地高度別比較断面抜粋（断面 1）

© Japan Society of Civil Engineers