

ドローンを利用した盛土の空中写真測量

Drone-Based Aerial Photogrammetry of Embankments

長谷川 尚也^{*1} 山上 雅弘^{*1} 清水 文雄^{*1} 松浦 一志^{*1}
Naoya Hasegawa Masahiro Yamagami Fumio Shimizu Hitoshi Matsuura

【キーワード】 UAV i-Construction ICT 土工

1. はじめに

東北地方の太平洋沿岸では、東日本大震災時の津波による被害からの復興工事が本格化しており、早い地域では、工事の終盤を迎えている。南三陸町での復興工事の主たる目的は、海岸沿いにあった旧市街地を高台へ移転することである。高台を掘削した残土を利用して被災した旧市街地（低地部）を盛土・嵩上げし、津波に強いまちづくりを目指し、大規模な造成工事を行っている。

当現場（南三陸町 CM 作業所：飛島・大豊・三井共同建設コンサルタント 南三陸町震災復興事業共同企業体）では、土工事の進捗率が 80%に達しているが、低地部の土量バランスが課題となっている。低地部では、高台掘削残土及び他事業残土（東北地方整備局、宮城県、南三陸町）を受け入れて盛土を行っているが、当初の計画通りならば 20 万 m³の土砂が余る見込みとなっている（表-1）。ただし、これは地山の土量に対する数量であり、土量変化率を考慮したものではないため、搬入土量と盛土の出来形とは実際には等しくならない。各事業や各工区の土砂の種類は千差万別であり、土量変化率を正確に計測することは不可能である。また、低地部は軟弱な沖積層が堆積しているため圧密沈下量によっても盛土量は変わってくる。仮に低地部の土量バランスが当初の計画から大きく乖離してくる場合、他事業からの残土受入について早急に見直しを行う必要があり、残りの工事期間を踏まえると現時点で土量バランスを確定させる必要がある。この課題を解決するため、低地部の盛土出来形を実測し、残りの必要土量を算出することとした。ここで、低地部全体の面積は 90ha と広大で、1 日当りの搬入土量は 3,000m³にも及ぶため、測量は迅速に行う必要があり、測量方法には従来の人力による測量ではなく、ドローンを利用した空中写真測量を用いることとした。

2. 空中写真測量の概要

空中写真測量の手順を表-2に示す。土量計算を行うためには、空中写真測量により得られる 3D 点群モデルと低地部の 3D-CAD モデルが必要である。3D 点群モデルは、ドローンが撮影した複数の画像をマルチビュース

テレオという手法で繋ぎ合わせて作成される。このとき、画像間の対応付けや点群モデルの精度向上及び補正のために対空標識を使用し、その数が多いほど点群モデルの精度は向上する。対空標識は、空撮時に盛土の下部や上部といった標高差の大きい場所や変化点付近に画像に写り込むように設置し、設置後、対空標識の座標と標高を観測する。今回はネットワーク型 RTK-GPS を使用して観測を行った（図-1）。

表-1 低地部土量バランス

工種	種別	予定数量
計画盛土量	低地部	390 万 m ³
搬入土量	地区内残土	300 万 m ³
	他事業残土	110 万 m ³
	計	410 万 m ³
低地部土量バランス		+20 万 m ³

表-2 測量フローチャート

対空標識設置及び GPS 観測	3 日間
ドローンによる空中写真撮影	4 日間
データ解析（3D 点群モデル作成→3D-CAD モデルと合成→土量計算）	6 日間
低地部土量バランスの予測	4 日間

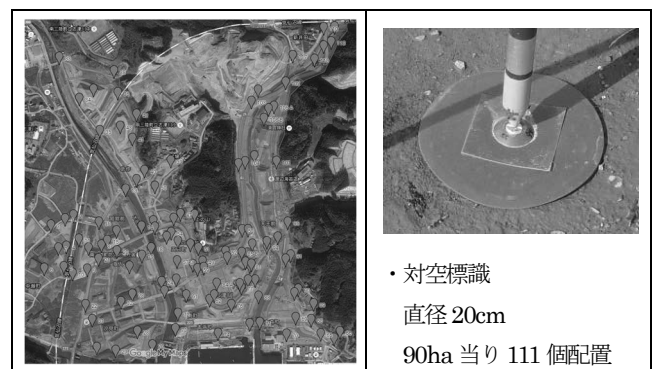
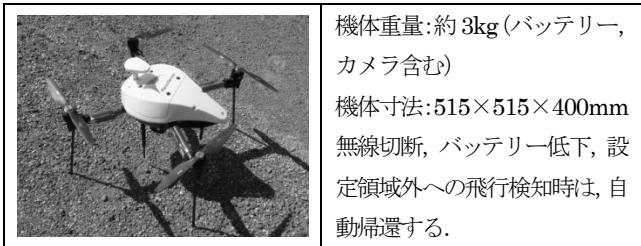


図-1 対空標識設置図

1. 東北支店 南三陸町 CM 作業所

空撮には自律飛行型のドローン（マルチコプター）を使用し（図-2）、撮影高度 50~60m, オーバーラップ率 70~75%で撮影を行った。撮影枚数は約 6,000 枚という結果であった。空撮により得られた 3D 点群モデルを図-3に示す。この 3D 点群モデルと別途作成した低地部の 3D-CAD モデルを合成・解析することで土量計算を行う。モデルを重ね合せた結果を図-4に示す。土量計算の結果得られた土量のコンタ図を図-5に示す。ここで、コンタ図内の赤や黄色の部分は盛土高さが計画値より高い部分、青や水色部分は計画値より低い部分である。赤色が点在している部分は、工程の都合上発生した仮置き土である。



機体重量:約 3kg (バッテリー、カメラ含む)
機体寸法:515×515×400mm
無線切断、バッテリー低下、設定領域外への飛行検知時は、自動帰還する。

図-2 使用機械（自律飛行型ドローン）

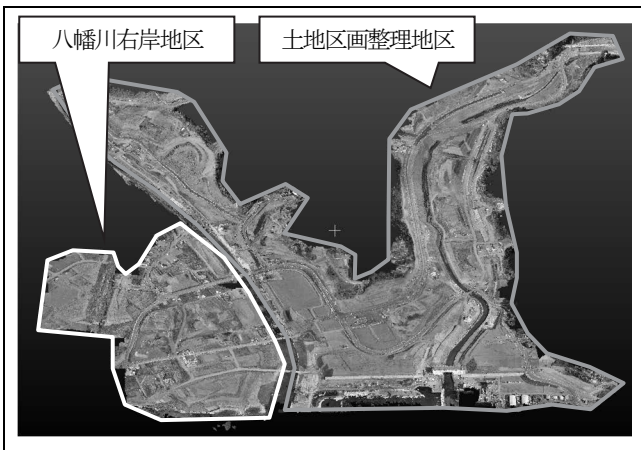


図-3 3D 点群モデル図



図-4 点群モデルと CAD モデルの重ね合せ

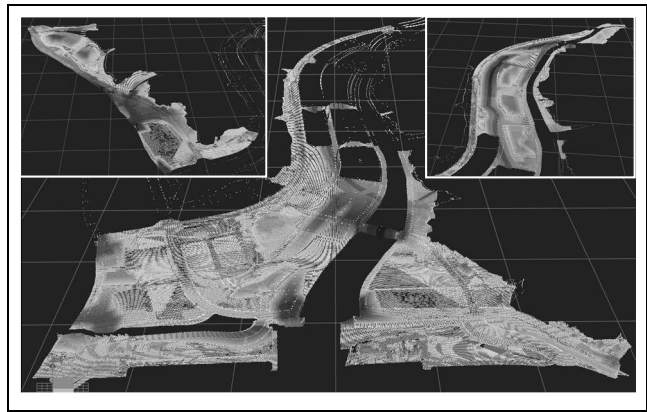


図-5 土量計算結果コンタ図

3. 結果

土量計算の結果を表-3に示す。今後の搬入予定土量 69 万 m³ に対し、残りの必要土量は 56 万 m³ という結果になり、約 13 万 m³ の土砂が余る見込みとなった。これにより、当面は当初の予定通りの搬入計画で問題ないことが分かった。ただし、低地部全体に仮置きしてある土砂は 114 万 m³ に達しており、これを盛土する際の土量変化率によっては、再び土量バランスは大きく変わってくる。よって、今回の結果により最終的な判断を下すのは早計と判断し、半年後を目途に再度、出来形測量を実施することとした。また、別途行った計測精度の検証では、標高において±10cm 程度という結果であった。

表-3 土量計算結果表

位置	仮置き土量	盛土不足量	差
土地区画 整理地区	39 万 m ³ (33 万 m ³)	103 万 m ³ (107 万 m ³)	-64 万 m ³ (-74 万 m ³)
八幡川 右岸地区	75 万 m ³ (63 万 m ³)	45 万 m ³ (45 万 m ³)	+30 万 m ³ (+18 万 m ³)
計	114 万 m ³ (96 万 m ³)	148 万 m ³ (152 万 m ³)	-34 万 m ³ (-56 万 m ³)

※()内は、今後の土量変化率及び圧密沈下量を考慮したもの

4. 課題

今回の出来形測量は、測量範囲が広く、迅速性が求められ、発注者の理解も得られたことから、空中写真測量を採用することができた。しかし、現時点では高コスト（300 万円/90ha）であり、多くの現場に普及させるには、コストを下げるという課題がある。この対策として以下の事項が考えられる。施工上、特に土工事において有用な手法であるので、継続した技術開発が望まれる。

- ①市場規模の拡大—官庁主導により普及を進め、競争原理により低コスト化。
- ②対空標識の省力化—GPS 搭載型対空標識の導入や標識数の削減により低コスト化（50 万円/90ha）。