

# UAV空撮画像から作成する3次元点群データ による開水路の傾倒監視 —空撮写真の分解能と測定精度の関係—

札幌開発建設部 土地改良情報対策官付 ○須藤 勇二

寒冷地におけるコンクリート開水路の特徴的な変状の一つに凍上圧による側壁の傾倒があげられる。これまで傾倒状態の診断では、側壁の角度等を直接的に計測する必要があった。

本報では、UAVを用いた空撮写真から作成する3次元点群データをもとに傾倒監視を行う方法を試行し、空撮写真の分解能と測定精度の関係を整理した結果、機能診断における健全度評価の判定材料になる一定の測定精度を得ることができたので概要を報告する。

キーワード：UAV、3次元点群データ、ストックマネジメント

## 1. はじめに

農業水利施設は、道路や河川、港湾などの他のインフラと同様に戦後の食糧増産や高度経済成長の時代に急速に整備が進められたことから、現在では老朽化が進んでおり、今後、標準耐用年数を一斉に超えることが想定されている。また、農業水利施設の保全管理の担当者は、高齢化が進むとともに減少傾向にあり、維持管理の更なる省力化や効率化が求められている<sup>1)</sup>。

また、農林水産省においては、農業水利施設の機能保全を図るストックマネジメントの取組を推進することとしている。さらに、ストックマネジメントに関する技術は、現場での実践を通じて技術的知見やノウハウを蓄積し、継続的に改善・高度化を進めるべきものとされている<sup>2)</sup>。

このような背景を踏まえたうえで、寒冷地におけるコンクリート開水路の特徴的な変状の一つである凍上圧による側壁の傾倒に着目すると、これまで傾倒状態を診断するためには、側壁角度等を直接的に計測する必要があった。そこで、維持管理の省力化や効率化を目指して、近年急速に普及してきているUAV（Unmanned Aerial Vehicle、無人航空機）による空撮写真から作成する3次元点群データをもとに側壁角度を算定し、実測値と比較することで側壁の傾倒監視に用いることができるか検討したので、その概要を報告する。

## 2. 方法

### (1) 対象施設

SUTO Yuji

調査の対象施設は北海道空知総合振興局管内にある北海幹線用水路とし、令和4～5年度の2年間調査を行った。北海幹線用水路は水路延長約80kmの用水路であり、今回の調査は、砂川市・奈井江町・美唄市のなかから撮影高度毎に表-1の区間を非連続に抽出して行った。なお、調査対象区間は、水路幅9.90～14.00m、水路側壁高さ2.35～2.60mのコンクリート製開水路である。また、調査対象区間は、大部分が矩形断面であるが、一部に台形断面を含んでいる（図-1）。

### (2) 使用したUAVの仕様

調査には、表-2のUAVを使用した。

### (3) 撮影方法

UAVの撮影高度は概ね10mから概ね40mまでの10m刻みに4種類とし、それぞれの撮影高度毎に水路直上・右斜め上・左斜め上の3方向から水路を撮影した（図-2）。撮影する際には、対空標識を100m毎に配置した。また、それぞれの写真の重複度はUAVを用いた公共測量マニュアル<sup>3)</sup>に準じて、同一コース内で80%以上、隣接コースと60%以上とした。

表-1 調査対象数量

| 撮影高度  | 10m  | 20m  | 30m  | 40m  |
|-------|------|------|------|------|
| 抽出延長  | 10km | 10km | 7km  | 7km  |
| 抽出区間数 | 24区間 | 24区間 | 14区間 | 14区間 |
| 算定断面数 | 20断面 | 20断面 | 14断面 | 14断面 |



図-1 水路断面図の例（美唄市区間）

表-2 使用したUAVの仕様

|       |                                 |
|-------|---------------------------------|
| 機種名   | DJI Inspire2                    |
| 有効画素数 | 2,000万画素                        |
| 画素配列  | 5,472 × 3,648 (19,961,856pixel) |
| 撮影画角  | 15m × 10m (撮影高度10m)             |
|       | 30m × 20m (撮影高度20m)             |
|       | 45m × 30m (撮影高度30m)             |
|       | 60m × 40m (撮影高度40m)             |
| 分解能   | 2.7mm/pixel (撮影高度10m)           |
|       | 5.5mm/pixel (撮影高度20m)           |
|       | 8.2mm/pixel (撮影高度30m)           |
|       | 11.0mm/pixel (撮影高度40m)          |

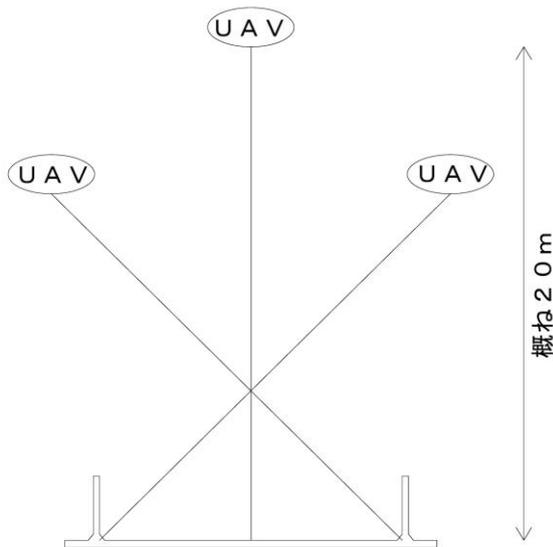


図-2 水路撮影方法の例（撮影高度20m）

#### (4) 点群データの作成方法

撮影した写真及び対空標識の座標値をもとにSfM (Structure from Motion) ソフトを用いて3次元点群データを作成した。今回の検討では、SfMソフトにAgisoft Metashapeを使用した。なお、作成した点群データを用いると図-3のような3次元画像を作成することができる。

#### (5) 側壁角度の算定方法

作成された点群について、水路内面部分を抽出した一例を示すと、図-4のとおりになった。この図-4で、側壁部分に注目すると、隅角部では丸みを帯びているが、それ以外の部分は概ね直線状であった。このことから、側壁角度は、以下の手順で算定した。なお、算定は撮影高度毎に表-1に示す断面数で行った。また、データ処理を簡単にするため、点群データの座標を回転して、水路縦断方向を座標軸に合わせたうえで側壁角度の算定等を行った。

- ① 作成された水路内面の点群のなかから、水路延長方向に撮影高度毎に表-3に示す点群を抽出する。
- ② 丸みを帯びている隅角部である水路側壁天端付近および水路底版付近の点群を除外する。なお、除外後に残った点群の高さは、2.0mとなった。
- ③ 左岸（または右岸）の点群を抽出する。
- ④ 抽出された点群を直角直線回帰（図-5）することにより側壁形状を定める。
- ⑤ ④で定めた側壁形状をもとに側壁角度を算定した。

#### (6) 点群の性状

(5)で使用した点群の性状を評価するため、点群密度（単位面積当たりの点の数）、回帰直線と点の距離を算定・整理した。

#### (7) 実測値との比較

(5)で算定した側壁角度を、別途現地で計測した側壁角度と比較した。



図-3 3次元画像の例

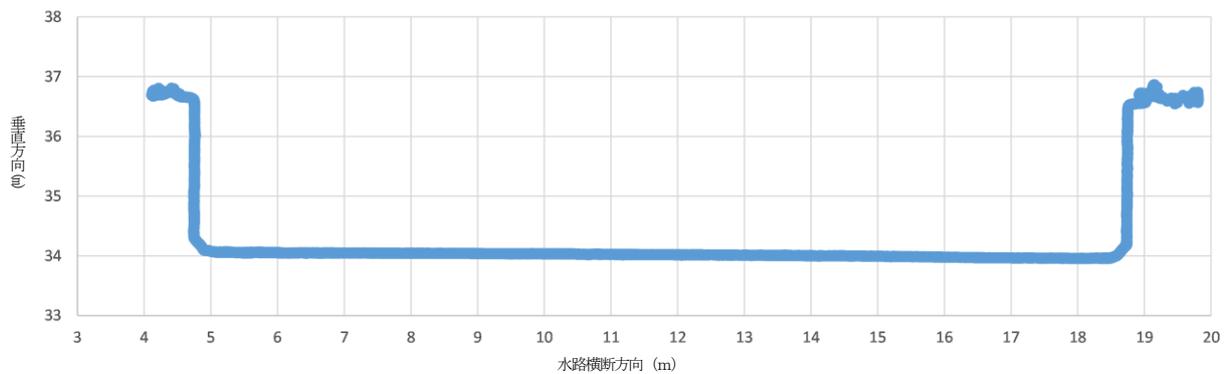


図-4 水路内面部分の点群データの例

表-3 算定に用いる点群延長

| 撮影高度 | 10m   | 20m   | 30m   | 40m   |
|------|-------|-------|-------|-------|
| 点群延長 | 0.05m | 0.15m | 0.50m | 0.80m |

### 3. 結果

#### (1) 点群の性状について

分解能・撮影高度毎の点群密度及び回帰直線と点の平均距離は、それぞれ表-4と図-6となった。

#### (2) 実測値との比較

側壁角度について、分解能・撮影高度毎に実測値と算定値で比較したところ、図-7となった。

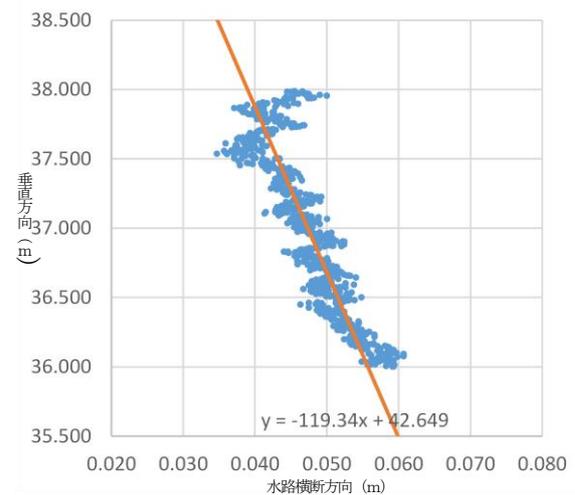


図-5 点群の直交直線回帰の例

### 4. 考察

#### (1) 点群性状について

点群密度を整理した結果、点群は概ね16画素から1点

の割合で作成されていることが分かった。

また、回帰直線と点の平均距離を整理した結果、回帰直線と点の平均距離の平均は、分解能の1～2倍に相当

表-4 点群密度等の平均値

| 撮影高度                        | 10m  | 20m  | 30m   | 40m   |
|-----------------------------|------|------|-------|-------|
| 点群密度(個/cm <sup>2</sup> )    | 0.78 | 0.27 | 0.09  | 0.05  |
| 1点当たり面積(cm <sup>2</sup> /個) | 1.28 | 3.71 | 10.90 | 18.29 |
| 1辺当たり長さ(cm)                 | 1.13 | 1.93 | 3.30  | 4.28  |
| (参考)分解能(cm/pixel)           | 0.27 | 0.55 | 0.82  | 1.10  |

※分解能の単位は比較を容易にするため cm/pixel とした。

することが分かった。

(2) 側壁角度について

側壁角度について、分解能8.2mm/pixel（撮影高度30m）までは大部分の算定値は実測値との差が±1°の範囲に収まっている。また、11.0mm/pixel（撮影高度40m）においても中央値であれば±1°の範囲に収まっている。

側壁角度に関する既往の機能診断事例では、4°程度の傾倒でS-2と評価している。健全度が5段階の離散値であることを考慮すると、算定された側壁角度は、機能診断における健全度評価の判断材料になり得ると考える。

なお、分解能が小さくなると必要になる作業量やデータ保存容量が大きくなる。そのため、調査を実施する際には、必要とする精度を適切に設定して、できるだけ作業量等が小さくなるように分解能を定めることが重要と

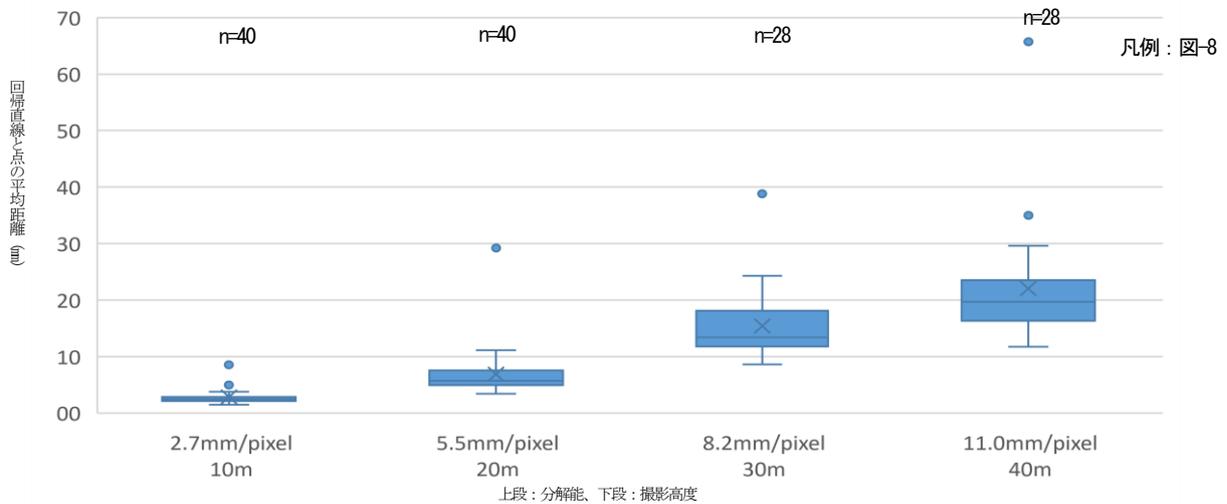


図-6 分解能・撮影高度毎の回帰直線と点の平均距離

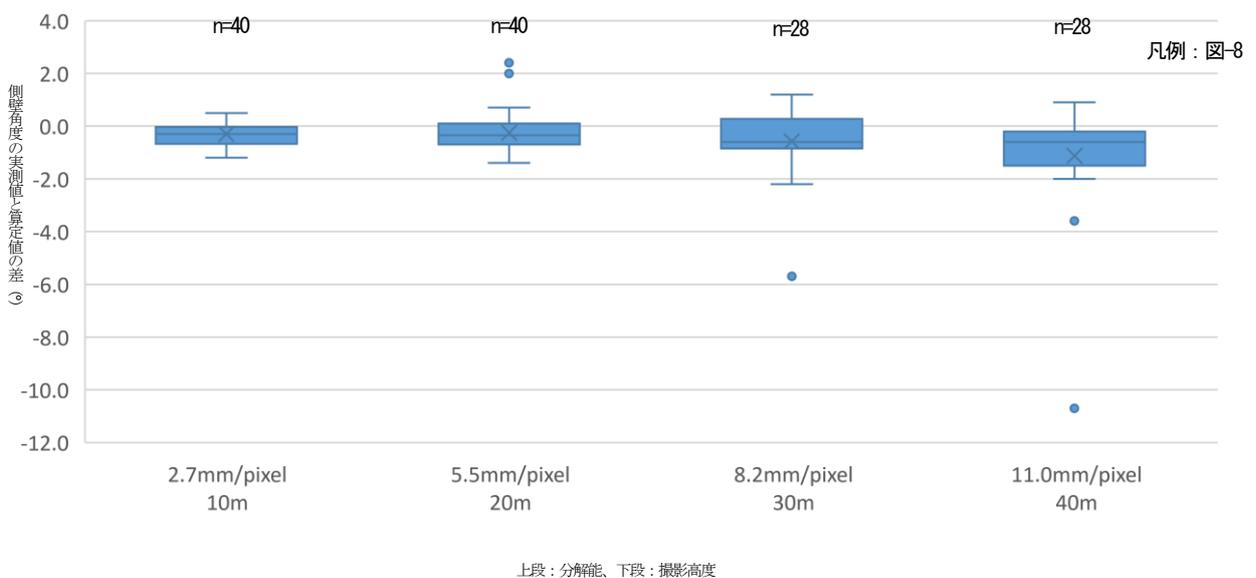


図-7 分解能・撮影高度毎の側壁角度の実測値と算定値の差

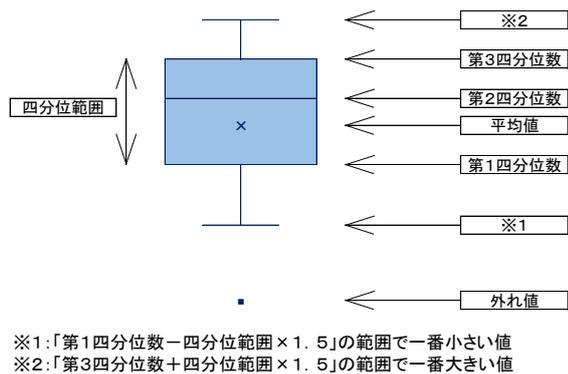


図-8 箱ひげ図の凡例

考える。

また、実測値と算定値の差が特に大きかった区間の点群の性状を参照すると、回帰直線と点の距離が他の区間と比べて大きくなっている。さらに、UAVからの撮影画像には、水路脇から水路内に草が張り出していることが確認された。このことから、草や木の水路内への張り出しによるUAV画像への映り込みは、点群のバラツキを大きくし、側壁角度算定の精度を低下させると考える。

## 5. おわりに

この事例では、選定した断面について側壁角度の算定を行い実測値と比較したが、点群データは連続的に作成されることから、側壁角度も水路の全延長に対して連続的な値として算定することが可能である。開水路の機能診断では、対策の要否や対策工法の比較検討等を効率的に行うため、施設の種類、構造、主な変状等の要因、その程度、設置環境等により同一の対策検討等を行うことが可能な施設群に分類し、グルーピングを行うこととされている<sup>4)</sup>。側壁角度の連続値は、グルーピングを行う際の客観的指標になる可能性があると考ええる。

さらに、健全度という離散値ではなく角度という連続値で側壁の状態を表現することが可能であり、劣化予測の精度を高めることができる可能性があると考ええる。

また、この事例は試行のため計算過程に多くの時間と労力を要したが、その大部分は自動化が可能であり開水路の効率的な状態評価につながるものと考ええる。

### 参考文献

- 1) 農林水産省：土地改良長期計画、p.13・33、2021.
- 2) 農林水産省：農業水利施設の機能保全の手引き、p.1・6、2023.
- 3) 国土地理院：UAVを用いた公共測量マニュアル（案）、pp. 25-26、2017.
- 4) 農林水産省：農業水利施設の機能保全の手引き「開水路」、p.60、2016.