

UAV撮影画像から作成する3次元点群データによる開水路の傾倒監視

札幌開発建設部 農業計画課 ○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。これまで傾倒状態を診断するには、側壁の角度等を直接的に計測する必要があった。

本稿では、近年急速に普及してきている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た結果、機能診断における健全度評価の判断材料になり得る観測精度を把握することができたので概要を報告する。

キーワード：ストックマネジメント、UAV、3次元点群データ、傾倒監視

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料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¹⁾。

また、農林水産省においては、農業水利施設の機能保全を的確かつ効率的に実施するため、ストックマネジメントの取組を一層拡大・深化させていくこととしている。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²⁾。

このような背景を踏まえたうえで、寒冷地のコンクリート開水路における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）からの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及び側壁間隔を算定し、実測値等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

調査の対象施設は北海道美唄市にある沼貝幹線用水路

とした。沼貝幹線用水路は、水路幅0.80~3.05m、水路側壁高さ1.00~2.10mのコンクリートフルーム水路である(図-1)。

(2) 使用したUAVの仕様

調査には、表-1のUAVを使用した。

(3) 撮影方法

UAVの撮影高度は概ね10mと概ね20mの2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

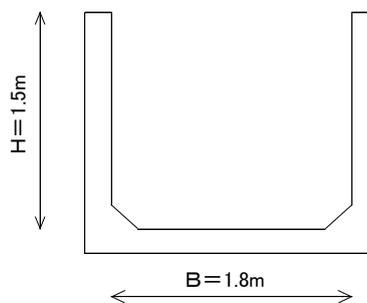


図-1 断面図の例

表-1 使用したUAVの仕様

機種名	DJI Inspire2
有効画素数	2,000万画素
静止画解像度	5,472 × 3,648 (19,961,856Pix)
撮影画角	15m × 10m (撮影距離10m)
	30m × 20m (撮影距離20m)

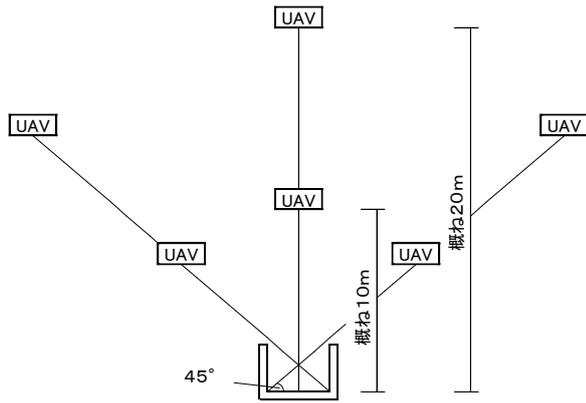


図-2 水路撮影方法

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³⁾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。なお、それぞれの撮影高度における1画素当たりの分解能は、撮影高度概ね10mで2.7mm/px、撮影高度概ね20mで5.5mm/pxであった。

(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ソフトは、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・側壁間隔の算定方法

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、側壁傾倒角度および側壁間隔は、以下の手順で算定した。なお、算定は3断面(表-2)で行い、次項に示す実測値等と比較した。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。

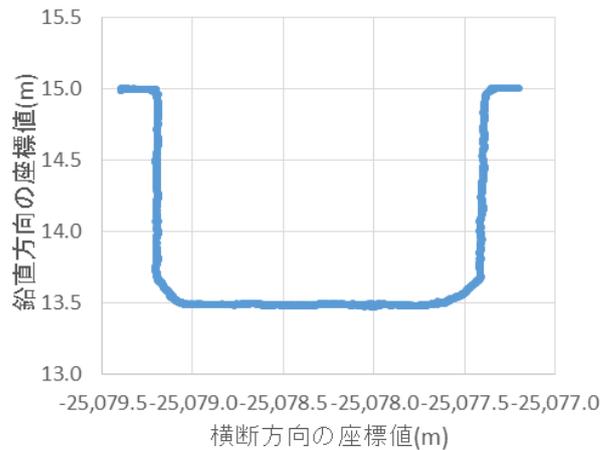


図-4 水路内面部分の点群データの例

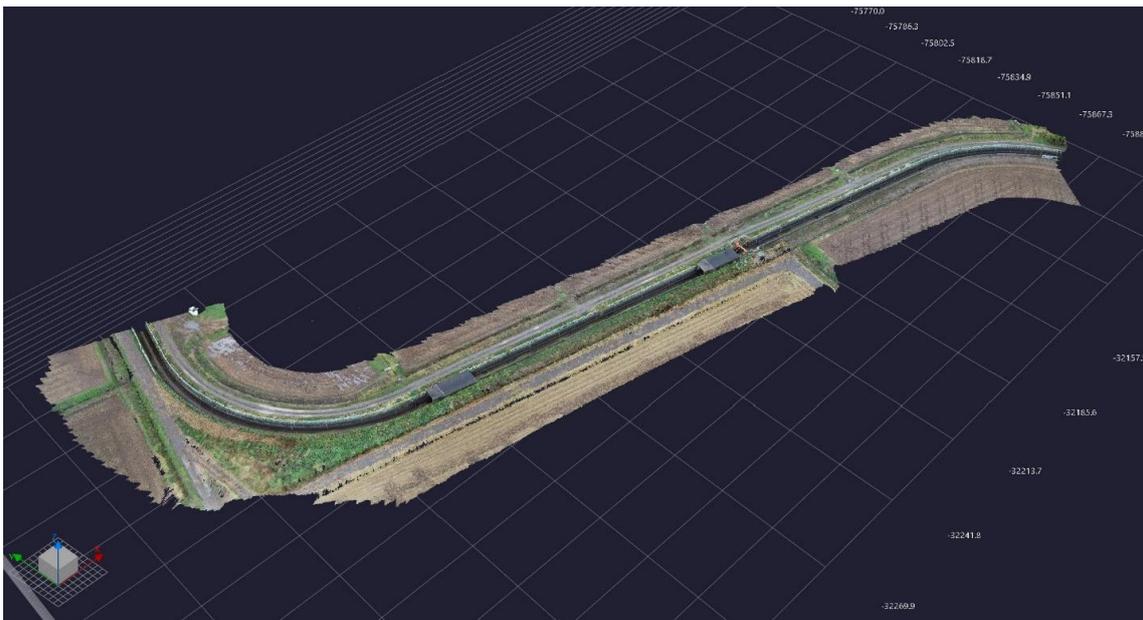


図-3 点群データを用いた3次元画像の例

- 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概ね10mの点群では0.05m、撮影高度概ね20mの点群では0.15mの点群を抽出する。
- 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板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、水路側壁高さ1.4mおよび1.5mの区間で1.0m、水路側壁高さ2.1mの区間で1.5m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線回帰（図-5）することにより側壁形状を定める。なお、直線回帰した際の決定係数はいずれも0.99以上であった。また、算定に用いた点群の側壁における単位面積当たりの個数は表-3のとおり、撮影高度概ね10mで平均0.743個/cm²、撮影高度概ね20mで平均0.217個/cm²であった。
- ⑤ ④で定めた側壁形状をもとに側壁角度及び側壁間隔を算定した。

(6) 実測値等との比較

前項で算定した側壁角度及び側壁間隔を、別途現地で計測した側壁角度の実測値及び側壁間隔の設計値と比較した。なお、比較は3断面で行った。

3. 結果

(1) 側壁角度について

側壁角度について、実測値と算定値で比較したところ、表-4のとおりとなった。側壁角度の実測値と算定値の差は、最大で1.0°、最小で0.0°、平均で0.3~0.4°であった。

(2) 側壁間隔について

側壁間隔について、設計値と算定値で比較したところ、表-5のとおりとなった。側壁間隔の設計値と算定値の差は、1.80mから3.05mの側壁間隔に対して最大で13mm、最小で2mm、平均で5~7mmであった。

4. 考察

(1) 側壁角度について

市販されているデジタル角度計の精度は、表-6のとおり90°の角度に対しては±0.05°~±0.1°となっている。また、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。このことから、算定された側壁角度は、デジタル角度計の精度に比

表-2 側壁角度等の算定断面

	水路幅	側壁高さ
断面1	3.05	2.10
断面2	2.30	1.40
断面3	1.80	1.50

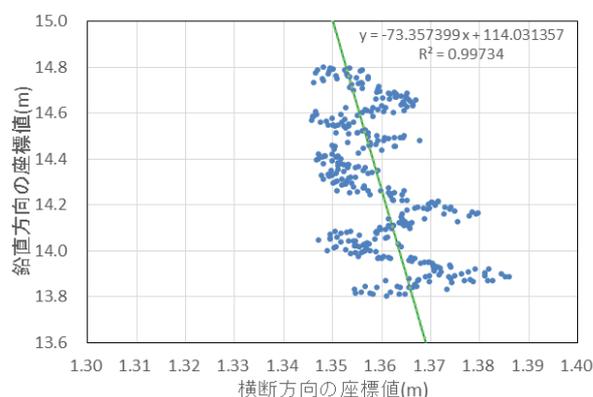


図-5 点群の直線回帰の例

表-3 点群の単位面積当たりの個数

		(単位:個/cm ²)	
		高度10m	高度20m
断面1	右岸	0.657	0.232
	左岸	0.660	0.227
断面2	右岸	0.836	0.197
	左岸	0.888	0.195
断面3	右岸	0.700	0.230
	左岸	0.716	0.219
最大		0.888	0.232
最小		0.657	0.195
平均		0.743	0.217

と劣っているが、健全度が5段階の離散値であることを考慮すれば、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。ただし、今後事例を増やして算定精度を明らかにする必要がある。

2015.

- 3) 国土院：UAVを用いた公共測量マニュアル、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.

(2) 側壁間隔について

巻尺のJISの許容差は表-7のとおりであり、側壁間隔の設計値と算定値の差は、一部に超過しているデータもあるが概ね繊維製巻尺（2種・2級）の許容差に収まっている。このことから、角度と同様に今後事例を増やす必要はあるが、算定された側壁間隔は機能診断で用いることができると考える。

表-4 側壁角度の比較表

(単位:°)

		実測値	算定値			差	
			高度10m	高度20m	高度10m	高度20m	
			a	b	c	d= b-a	e= c-a
断面1	右岸	-0.4	-0.7	-0.8	0.3	0.4	
	左岸	+0.2	-0.3	+0.1	0.5	0.1	
断面2	右岸	-0.1	-0.1	+0.2	0.0	0.3	
	左岸	+0.3	0.0	+0.3	0.3	0.0	
断面3	右岸	-0.2	-0.1	-0.8	0.1	0.6	
	左岸	+0.4	-0.6	0.0	1.0	0.4	
最大					1.0	0.6	
最小					0.0	0.0	
平均					0.4	0.3	

角度は時計回りを正とした。

(3) 撮影高度について

撮影高度10mの結果と撮影高度20mの結果に大差はなかった。事例を蓄積する必要はあるが、撮影高度10mに比べて撮影高度20mの方が、作業量やデータ保存容量が少なく済むことから、他の事例でも同様の結果になるのであれば、撮影高度20mの方が有利と考える。

表-5 側壁間隔（水路幅）の比較表

(単位:m)

	設計値	算定値			差	
		高度10m	高度20m	高度10m	高度20m	
		a	b	c	d= b-a	e= c-a
断面1	3.050	3.052	3.052	0.002	0.002	
断面2	2.300	2.306	2.313	0.006	0.013	
断面3	1.800	1.806	1.805	0.006	0.005	
最大				0.006	0.013	
最小				0.002	0.002	
平均				0.005	0.007	

5. おわりに

この事例では、3断面について側壁角度及び側壁間隔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、側壁角度や側壁間隔も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⁴⁾。側壁角度や側壁間隔の連続値は、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られる。

また、異なる時点の点群データを比較することにより、経時変化を評価できるようになる可能性があると考えられる。

ただし、点群データは、保存容量がかなり大きくなるので注意が必要である。

表-6 デジタル角度計の精度

製品種類	対象角度	精度
A社製①	0°、90° の場合	±0.05°
	0°、90° 以外の場合	±0.15°
A社製②	0°、90° の場合	±0.1°
	0°、90° 以外の場合	±0.2°
B社製	0°、45°、90° の場合	±0.1°
	0°、45°、90° 以外の場合	±0.2°

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、

表-7 巻尺の長さの許容差（JIS）

巻尺の種類	長さの許容差算定式 (端面起点の場合)		計算例				
			3mの場合 (端面起点)		1.8mの場合 (端面起点)		
			± 0.5 mm	± 0.7 mm	± 0.4 mm	± 0.6 mm	
鋼製巻尺(JIS B 7512)	1級	±(0.2+0.1L)mm	± 0.5 mm	± 0.7 mm	± 0.4 mm	± 0.6 mm	
	2級	±(0.25+0.15L)mm	± 0.7 mm	± 0.9 mm	± 0.5 mm	± 0.7 mm	
繊維製巻尺(JIS B 7522)	1種(線目盛)	1級	±(0.6+0.4L)mm	± 1.8 mm	± 2.2 mm	± 1.3 mm	± 1.7 mm
		2級	±(1.2+0.8L)mm	± 3.6 mm	± 4.0 mm	± 2.6 mm	± 3.0 mm
	2種(境目盛)	1級	±(1.2+0.8L)mm	± 3.6 mm	± 4.0 mm	± 2.6 mm	± 3.0 mm
		2級	±(2.4+1.5L)mm	± 6.9 mm	± 7.3 mm	± 5.1 mm	± 5.5 mm