第65回(2021年度) 北海道開発技術研究発表会論文

水中ドローンによる機能診断手法 の適用性の評価について

留萌開発建設部 土地改良情報対策官付 ○横木 淳一 土地改良情報対策官

金谷 訓志

土地改良情報対策官付 伊藤 真奈美

通年水利用している農業水利施設において、断水せずに機能診断を行う手法が確立されれば、 営農への影響を最小限にすることが可能となる。

本報では、水中部を有する農業水利施設において、水中ドローンを用いた水中部撮影画像の 三次元データ解析による機能診断手法を検証し、診断技術としての適用性を評価するものであ る。

キーワード:水中ドローン、機能診断、ストックマネジメント

1. はじめに

近年ドローンが、測量や災害時の状況把握、施設の変 状調査など様々な分野で活用され始めている。機能診断 においても、高所で容易に立ち入れない箇所の確認など に用いられ始めており、技術の発展途上ではあるが、多 くの新技術の導入が模索されている状況にある。

水中部においては、変状を確認するための目視確認に は排水が必要となることから、構造物の内部を診断する ことが困難なため、調査を実施できていない施設も存在 している。

本報では貯水池、FPの壁面に擬似的なひび割れ、段 差の模型を設置し、水中ドローンを用いた撮影画像によ りひび割れ幅の測定や段差の計測を行うことで機能診断 手法としての適用性について検証を行った。

2. 水中ドローンについて

水中ドローン(写真-1)は、近年港湾分野や河川分野 で使用され、海中の消波ブロックの点検や生態調査、災 害後の現場確認などに用いられており、数種類の機体が 市販されている。農業分野においては、口径の大きいサ イホンの内部確認、ダムや貯水池のような天端に蓋のな い施設の水中部状況確認など一部利用に留まっている。

本調査で使用した機体はUAVと違い、有線にてコン トロールするもので、最大深度は100m、最大水平移動 距離は200m、搭載カメラの解像度は1.200万画素のもの を使用した(表-1)。



写真-1 水中ドローン

表-1	水中	ドローン	•	カメ	ラ	の仕様
-----	----	------	---	----	---	-----

	型式	CHASING M2				
	寸法	380 × 267 × 165mm				
水中ド	重量	4.5kg				
	最大深度	100m				
	最大速度	1.5m/s				
	平均稼働時間	2h~4h				
	LED輝度	2 × 2000lm				
	センサー	CMOS 1/2.3(SONY IMX377)				
	有効画素数	1200万画素				
	レンズ	F1.8				
カメラ	視野角	153°				
	最大解像度	12M				
	フォーマット	DNG,JPEG				
	ISO 感度	100~6400				

3. 調査方法

調査については、明るさや屋外、室内など条件を変え 実施した。確認するひび割れについては、疑似ひび割れ 及び疑似段差を作成し調査を実施した。詳細な条件等に ついては、以下のとおり設定した。

(1) 調査箇所

調査箇所は、濁度、自然光の有無など条件の異なる以下の2施設を選定した(表-2)。

表-2 調查箇所一覧										
調査施設	屋内·屋外	自然光の有無	濁度	SS	最大深さ					
FP	屋内	無	0.4度	1mg/L以下	2.8m					
貯水池	屋外	有	0.5度	1mg/L以下	7.3m					

(2) 疑似ひび割れ・疑似段差について

本調査では、対象施設の排水を行うことなく、コンク リートの診断を行うことを目的としているため、対象施 設の変状の有無を目視で確認できない。よって、擬似的 なひび割れと段差を作成し設置することで変状を表すこ ととした。

疑似ひび割れは、0.1mmから2.0mmまでの線を白いア クリル板と透明なアクリル板に記載したものを作成した (図-1)。

疑似段差は、アクリル板に3mmから15mmの段差をつけたものを作成した(図-2)。また、撮影精度向上のため座標補正による写真の整列(アライメント)が行えるよう、あらかじめ座標点を設けた。



図-1 疑似ひび割れ



図-2 疑似段差

(3) 撮影時の現地条件の把握

ひび割れの規模やその他の変状の解析は、撮影画像の 品質や被写体の状態、調査地点の透明度や照度など不確 定な条件により解析の正確さが左右される。

調査を行う2施設は水深が異なるが、それぞれの水深 を3分割した位置で照度の計測を行うこととした。水中 ドローンの入水後、深さ方向に機体を移動させ、透明度 に大きな変化がないことを確認後、任意の箇所において 採水し、濁度とSSを測定した。

(4) 撮影条件について

写真撮影は、深さ方向の条件(各施設の水深を3分割 した位置)を変えて実施した。

ドローンによる撮影は、「UAVを用いた公共測量マ ニュアル(平成29年3月)」¹⁾において、「同一コース 内の隣接空中写真との重複度が80%以上、隣接コースの 空中写真との重複度が60%以上を確保できるよう撮影計 画を立案することを標準とする」とされているため、水 中ドローンでの撮影においても本マニュアルを準用し撮 影を行った。

(5) 予備調査について

水中ドローンの撮影は、機体の姿勢制御時の振動に よる画像のブレやカメラと被写体の距離のバラつき、水 の透明度低下により撮影画像が不鮮明となる等の影響が 生じる。画像分析可能なデータを確実に取得するために は、撮影画像への影響がなるべく小さくなる方法を考慮 しておく必要がある。そのため、予備調査として実験室 での屋内水槽において、壁面からの離れを0.3m、0.5m、 0.75m、1.0m、1.5mの5段階に変えて、疑似ひび割れ、疑 似段差の撮影を行った。

水中ドローンで撮影した疑似ひび割れ、疑似段差の画 像から三次元点群データ及びオルソ画像を作成し、最も 鮮明な画像となった距離を水中ドローンの写真撮影時の 壁面と機体の離れの指標とすることとした。

(1) 予備調査結果

壁面から0.3m、0.5m、0.75m離れの撮影画像は鮮明 (**写真-2**)であり、疑似ひび割れの確認も可能な状況で あった。1.0m、1.5m離れの撮影画像は不鮮明で、疑似ひ び割れの確認が困難であった(**写真-3**)。

オルソ画像は、撮影した画像のRAWデータを現像し3 次元点群データから作成するものである。0.3m、0.5m離 れのオルソ画像は、不鮮明箇所が多くなり疑似ひび割れ の確認が困難な画像となった(写真-4)。原因としては、 撮影距離が近すぎることにより写真の合成のための特徴 点が少なくなった結果、合成画像に穴や不鮮明な箇所が 生じたと考えられる。0.75mのオルソ画像は疑似ひび割 れも確認可能であったことから、本調査では、壁面から 0.75m離れで撮影することとした(写真-5)。



写真-2 0.3m離れ撮影画像(白紙パネル)



写真-3 1.0m離れ撮影画像(白紙パネル)



写真4 0.5m離れのオルソ画像(透明板パネル(左)、 白紙パネル(右))

YOKOKI Junichi, KANAYA Noriyuki, ITOU Manami



写真-5 0.75m離れのオルソ画像(透明板パネル(左)、 白紙パネル(右))

(2) 3次元データによる診断

本報告の予備調査については実験室の室内水槽での撮 影画像、診断画像については、すべて貯水池の画像を使 用している。調査時の貯水池の条件は、濁度0.5度、SS 1mg/L未満、水深1.2m地点での照度12,000k、気中での照 度35,900kであった。

a) CAD計測結果

作成したオルソ画像をCADに取り込み、疑似ひび割れの幅と長さの再現性を検証した。オルソ画像については、水深1.2mで撮影した画像を使用し、解像度については、水中ドローンと壁面との離れ0.75mで1Pix当たり0.26mmとなった。

疑似ひび割れのCAD計測では幅、長さがそれぞれ実 寸と誤差±20%を超える場合は、判定を×として整理し た。透明板、白紙パネルともに、幅0.6mm以上の疑似ひ び割れについては、幅、長さともに誤差率が±20%以下 となった(表-3、表-4)。

①線形幅 mm	②線形延長 mm	③計測幅 mm	④計測延長 mm	幅誤差率 ③/①%	幅判定	延長誤差率 ④/②%	延長判定
0.10	500	0	0	-100%	×	-100%	х
0.15	500	0	0	-100%	x	-100%	x
0.20	500	0.41	188	105%	×	-62%	х
0.40	500	0.51	384	28%	×	-23%	x
0.60	500	0.69	414	15%	0	-17%	0
0.80	500	0.78	492	-3%	0	-2%	0
1.00	500	0.95	498	-5%	0	0%	0
1.20	500	1.29	499	8%	0	0%	0
1.40	500	1.49	503	6%	0	1%	0
1.60	500	1.71	498	7%	0	0%	0
2.00	500	2.01	408	0%	0	-18%	0

表-3 透明板パネルCAD計測結果

表-4 白紙パネルCAD計測結果

①線形幅 mm	②線形延長 mm	③計測幅 mm	④計測延長 mm	幅誤差率 ③/①%	幅判定	延長誤差率 ④/②%	延長判定
0.10	500	0.26	468	160%	х	-6%	0
0.15	500	0.26	493	73%	×	-1%	0
0.20	500	0.26	491	30%	х	-2%	0
0.40	500	0.51	476	28%	х	-5%	0
0.60	500	0.56	504	-7%	0	1%	0
0.80	500	0.66	496	-18%	0	-1%	0
1.00	500	0.97	498	-3%	0	0%	0
1.20	500	1.17	489	-3%	0	-2%	0
1.40	500	1.29	487	-8%	0	-3%	0
1.60	500	1.54	484	-4%	0	-3%	0
2.00	500	2.04	491	2%	0	-2%	0

b) 自動抽出ソフトによる計測結果

作成したオルソ画像を基に、ひび割れ自動抽出ソフト によりひび割れを計測した。

抽出結果は、透明板、白紙パネルともにひび割れの幅、 長さを誤差率±20%以内で検知することはできなかった

(表-5、表-6)。要因として、疑似ひび割れの線とパネ ルの境界部、疑似ひび割れの線形自体が水の濁り等によ り、明確な色識別ができなかったためと考えられる。

①線形幅 mm	②線形延長 mm	③計測幅 mm	④計測延長 mm	幅誤差率 ③/①%	幅判定	延長誤差率 ④/②%	延長判定
0.10	500	0	0	-100%	×	-100%	х
0.15	500	0	0	-100%	×	-100%	х
0.20	500	0.06	14	-70%	x	-97%	×
0.40	500	0.14	71	-65%	×	-86%	х
0.60	500	0.15	169	-75%	×	-66%	х
0.80	500	0.17	353	-79%	×	-29%	х
1.00	500	0.18	343	-82%	х	-31%	×
1.20	500	0.17	248	-86%	×	-50%	х
1.54	500	0.13	208	-92%	×	-58%	x
1.60	500	0.11	57	-93%	х	-89%	×
2.00	500	0.12	63	-94%	x	-87%	×

表-5 透明板パネルひび割れ自動抽出結果

表-6 白紙パネルひび割れ自動抽出結果

①線形幅 mm	 2線形延長 mm 	③計測幅 mm	④計測延長	幅誤差率 ③/①&	幅判定	延長誤差率 の/の%	延長判定
0.10	E00	0.05	265	_F0¥	v	-07V	~
0.10	500	0.00	300	-30%	^	-Z/%	^
0.15	500	0.09	432	-40%	х	-14%	0
0.20	500	0.1	451	-50%	×	-10%	0
0.40	500	0.17	500	-58%	x	0%	0
0.60	500	0.32	515	-47%	×	3%	0
0.80	500	0.42	493	-48%	×	-1%	0
1.00	500	0.49	507	-51%	x	1%	0
1.20	500	0.49	496	-59%	×	-1%	0
1.54	500	0.43	427	-72%	x	-15%	0
1.60	500	0.4	353	-75%	×	-29%	0
2.00	500	0.23	161	-89%	x	-68%	0

c) 三次元モデルによる段差の計測結果

水深 1.2m 地点での点群データから三次元モデルを作成し疑似段差の再現を行った(写真-6)。横断図は取得した点群データからメッシュを組み作成した。横断図からの計測の結果、10mm、15mmの疑似段差において比較的精度よく再現されていた(表-7、表-8)。

しかし、3mm、5mm の段差では再現性が低く、詳細 なモデルを作成するのは困難であると言える。原因とし ては、点群データを作成する際に、撮影写真内の水中の 不純物や濁り、自然光の有無等がノイズとして点群デー タに表れたためと考えられる。



写真-6 疑似段差の三次元モデル

表-7 縦方向疑似段差計測結果

縱方向	1	2	3	4	5	6	7
疑似段差(mm)	3.0	5.0	10.0	15.0	10.0	5.0	3.0
再現モデルでの段 差(mm)	4.2	8.7	13.1	16.5	15.3	9.9	2.7
誤差率	40%	74%	31%	10%	53%	98%	-10%

表-8 横方向疑似段差計測結果

横方向	9	10	1	12	13	14	(15)
疑似段差(mm)	3.0	5.0	10.0	15.0	10.0	5.0	3.0
再現モデルでの段 差(mm)	5.5	5.9	7.4	12.5	11.2	8.1	4.4
誤差率	83%	18%	-26%	-17%	12%	62%	47%

5. まとめ

(1) ひび割れ抽出技術としての適用性

a) CAD 計測の適用性

CAD 計測結果から、ひび割れの認識精度は比較的高 く 0.6mm のひび割れ幅から検出が可能な結果であった ことから、現地踏査での使用であれば十分利用可能と考 えられる。

b) ひび割れ自動抽出ソフトによる計測の適用性

抽出結果から、ひび割れの認識精度については誤差率 ±20%以内での検出ができなかったことから、現地踏査、 近接目視のどちらにも適用は困難であると考えられる。

ただし、ひび割れ線の自動抽出機能は、CAD 計測での線形拾い漏れ防止に役立つと考えられ、CAD 計測の サポートとして活用できると考えられる。

(2) 段差検出への適用性

三次元モデルでの段差認識精度は、小さい段差では誤 差が大きい結果となっているものの、10mm、15mmの 比較的大きい段差であれば認識はできていることから、 段差の検出についても現地踏査であれば適用可能と考え られる。

(3) 適用性について

今回の調査では濁度 0.5 度、SS 1mg/L 未満、水深 1.2m 地点の照度 12,000k と比較的条件の良い施設で実施して いるものの、上記(1)、(2)より 3 次元データからの再現性 が低いため、近接目視ではなく CAD 計測を使用した現 地踏査での活用は可能であると考えられる。

ひび割れ自動抽出ソフトではひび割れ幅・長さの検出 が困難なため、現時点での適用性はないと考えられる。 これは、今回使用したひび割れ自動抽出ソフトが気中で 撮影した画像の使用を想定しているものであり、水中画 像であったため計測精度が低下したと考えられる。ただ し、前述のとおり、CAD 計測のサポートとして活用で きると考えられる。

6. 今後について

ひび割れや段差の認識という定性的な評価は可能であ ったことから、今後については、水中ドローン、カメラ の性能が向上した時点で定量的な評価が可能か調査を行 い、水中部でのコンクリートのひび割れ、剥離など機能 診断調査を実施できるようになることが望まれる。

謝辞:本調査の実施及び本報告に関してご協力いただい た各関係機関の方々に深く感謝を申し上げます。

参考文献

 1)国土交通省国土地理院: UAV を用いた公共測量マニュアル (案)、平成29年3月