

積雪期における河川堤防の変状抽出に向けた予備的検討

(国研)土木研究所 寒地土木研究所 ○吉田 智
北海道開発局 事業振興部 デジタル基盤整備課 飯田 美喜

1. はじめに

日本国内では大規模な地震により、家屋だけではなく、道路の陥没や河川堤防（以降、「堤防」という。）にクラックが発生するなど、土木施設においても甚大な被害を受けている。なお、河川管理においては、震度 5 以上の地震が発生した場合、直ちに堤防の点検を実施しなければならないが¹⁾、北海道のような積雪寒冷地では、冬季間、河川敷地に立ち入っての点検は積雪により困難を極める地域がある。そのため、広範囲にわたる堤防の被害状況を迅速かつ効率的に検知する手法の構築は重要となる。

本稿では、冬季間に地震が発生した時、堤防のクラック上の積雪にも同様の変化が発生すると想定し、これらの被害（変状）を検出するための試験を実施したので報告する。具体的には、冬季環境下の雪面に作製した変状上を固定翼の無人航空機（以降、「UAV」という。）が飛行し、光学カメラで撮影した画像データから、変状を抽出できるか検証した。

2. UAV 飛行試験

2.1 試験機器

本試験では、過年度実施した検証試験と同様に Quantum-Systems 社製の VTOL 型の機体を用いた（図-1）²⁾。変状の撮影には、当該機体に搭載された RGB カメラ（以降、「カメラ」という。）を用いている（図-2）。なお、試験時の飛行高度 100m における、カメラの画角から算出される撮影範囲は横 102m、縦 68m となる。

2.2 試験方法

試験は、令和 7 年 1 月 22 日に寒地土木研究所が保有する石狩吹雪実験場（以降、「実験場」という。）の積雪上に変状を作製し試験を行った。試験時の気象を表-1³⁾に示す。

(1) 飛行ルート

試験の飛行ルートは、地震発生後の点検を考慮し、変状箇所の直上を往復することとしたほか、往復だけでは変状の撮影が不足することと考えられたことから、変状を十字に交差するように飛行し、撮影を行った。

(2) 作製した変状

本試験では、積雪上に幅 0～700mm、深さ 0～850mm の三角錐形状の変状を作製した（図-3）。

変状は、堤防天端（平面）と法面（斜面）に発生することを想定し、実験場の平面部分に方向が約 90° 異なる 2 つ（変状 1, 2）、また、実験場の斜面部分には、長手方向に対し縦（変状 3）、横（変状 4）となる 2 つ作製した。なお、試験前に変状の状態をスケールで測定したほか、モバイル端末に搭載された LiDAR を用いて事前に変状をスキャンしている（表-2、図-4）。

3. 試験結果及び考察

3.1 変状の視認性検証

撮影した画像を確認した結果、平面に作製した

項目名	仕様
最大離陸重量	5.0kg
寸法（翼幅）	2.394m
最適巡航速度	17m/s
最大飛行高度	4,500m
最大飛行時間	90分
コントロール距離	5～7.5km
最大ペイロード	700g
動作温度範囲	-12℃～50℃

図-1 Quantum-Systems 社製の VTOL の外観と仕様

項目名	仕様
有効画素数	約4,240万画素 (7952×5304 px)
F値	F2～F22
焦点距離	35mm
画角(35mm判相当)	63°

図-2 RGB カメラの外観と仕様

表-1 試験時の気象条件等

飛行時刻		天気	気温 (℃)	平均 風速 (m/s)	最大 瞬間 風速 (m/s)	風向	飛行 高度 (m)	データ 形式
開始	終了							
10:38	10:56	晴	-2.2	2.5	5.7	東南東	97	JPG

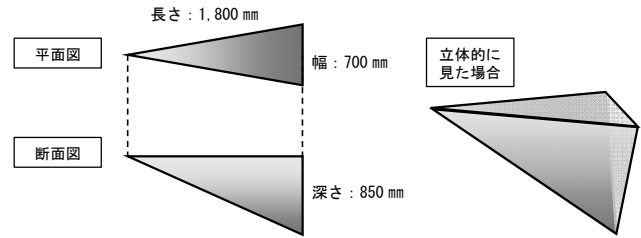


図-3 作製した変状イメージ

表-2 モバイル端末仕様

項目	仕様
モデル名	iPhone 13 Pro
容量	128GB
重さ	203g
サイズ	高さ×幅×厚さ：146.7mm×71.5mm×7.65mm
搭載センサ	12Mpixel メインカメラ、12Mpixel 超広角カメラ、12Mpixel 望遠カメラ、LiDARスキャナ、気圧計、3軸ジャイロ、加速度センサ、近接センサ、環境光センサ
画面解像度	2,532×1,170 px
OS	iOS 18.2
CPU/GPU	A15 Bionicチップ（6コアCPU、5コアGPU）
メモリ	16コアNeural Engine

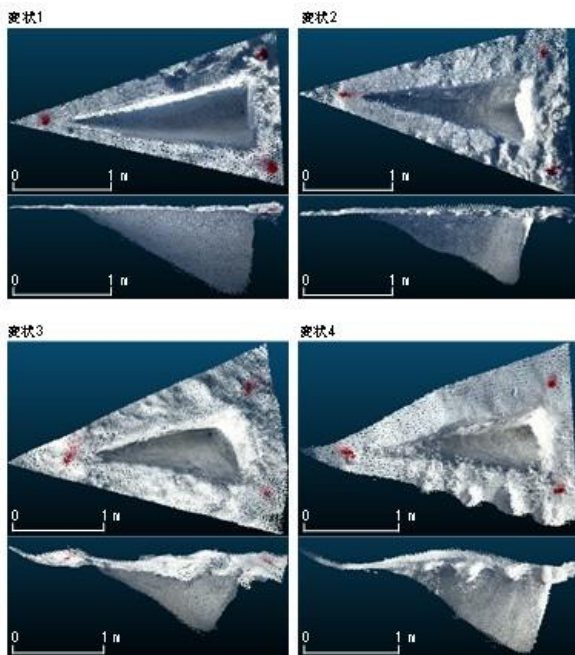


図-4 モバイル端末LiDARでスキャンした各変状の形状
(上：各変状の上面の状態、下：各変状の側面の状態)

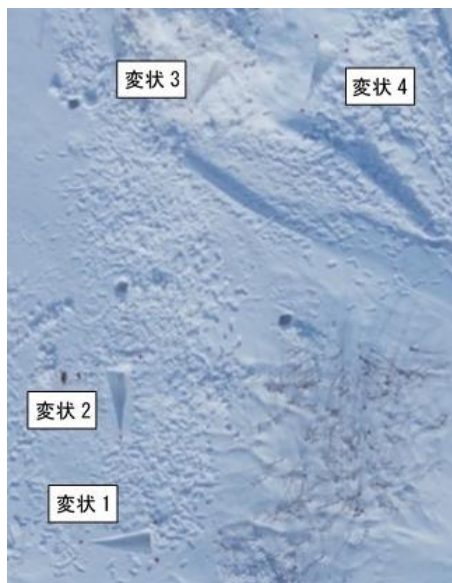


写真-1 撮影した変状の視認性

変状 1, 2 は、陰影により視認は容易であったが、斜面に作製した変状3,4は陰影が乏しかったため、平面の変状と比較して視認性は劣っていた（写真-1）。

3.2 画像のSfM 処理

画像から変状の平面形状は視認できたが、変状の深さの確認は困難であったため、取得した画像データを SfM 処理し、点群データを作成した。なお、SfM 処理に使用した画像データ、ソフトの概要を表-3, 4、及び作成した点群データから各変状を切り出したものを図-5 に示す。

SfM 処理した点群データより、変状 1～3 の形状は明瞭に確認できたが、斜面の長手方向に対して横となる変状 4 は、深さ方向の点群の一部に欠損が生じていた。これは斜面の傾斜により変状の奥まで撮影できなかったことが要因であると考えられる（図-6）。

3.3 SfM 処理における画像枚数について

試験時、風の影響により飛行速度に差異が生じていることが目視できたため、画角に入る変状の

表-3 画像データ概要

解像度		1枚あたり撮影範囲		地上解像度
長辺 (px)	短辺 (px)	長辺 (m)	短辺 (m)	(mm)
7,952	5,304	93	66	12

表-4 SfM 処理に使用したソフト概要

ソフト名	バージョン	ベンダー	国
Metashape	2.2.0	Agisoft	ロシア

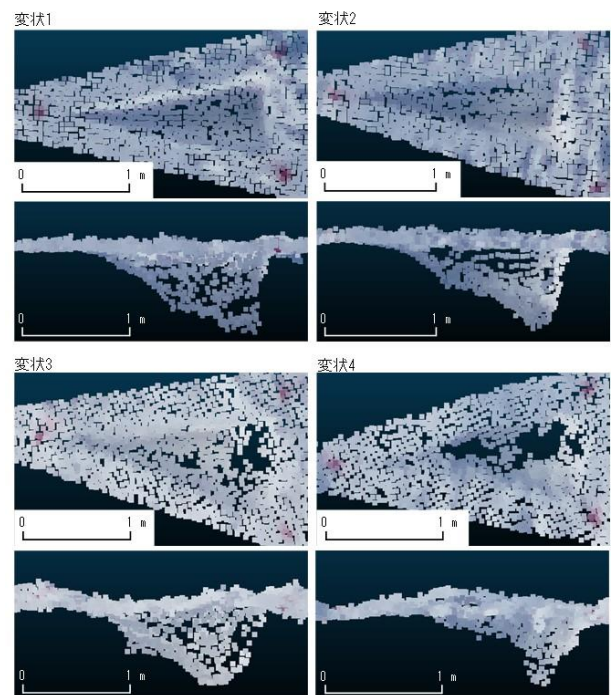


図-5 切り出された各変状
(上：変状の上面図、下：変状の側面図)

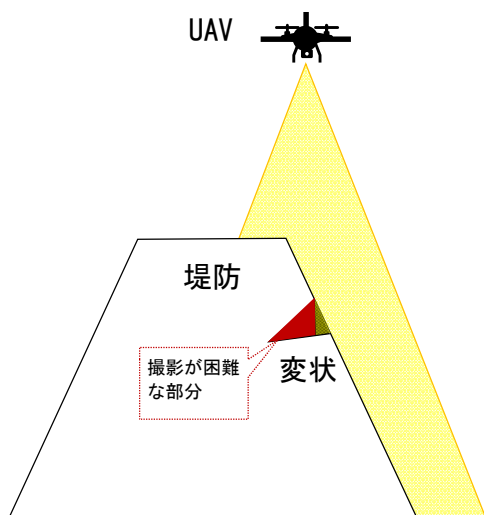


図-6 傾斜により撮影が困難になるイメージ

撮影枚数が異なることが考えられたことから、画像データが持つ時間情報をもとに往路、復路の各画像データで SfM 処理したほか、往路と復路の全ての画像データで SfM 処理したもの（以降、「往復」という。）と、それらに十字方向の 2 ルートを加えた 4 方向全ルート of 画像データで SfM 処理したもの（以降、「全ルート」という。）で比較検証を行った。SfM 処理に使用した写真の枚数を整理したものを表-5、また、変状 1 と変状 4 における処理結果を図-7、8 に示す。

SfM 処理に使用した写真データ数は、復路の方が若干多かったが、往路と復路の SfM 処理結果に差異は見られなかった。一方、往復、全ルートは、SfM 処理に使用する写真枚数が多かった分、往路、復路よりも変状の形状が鮮明になっていた。なお、往復で撮影した画像データを用いて SfM 処理することで、変状の形状が鮮明になっていることを鑑みると、地震発生後の点検は、堤防を往復して撮影することで、変状の形状を把握し得る可能性が示唆された。

3.4 SfM 処理で作成された点群データの測定値と実測値の比較

CloudCompare を用い（表-6）、点群データの各変状における最大幅、最大深さ、長さを測定し、実測値との比較検証を行った（表-7）。最大幅、最

表-5 SfM 処理に使用した写真枚数

飛行方法	写真枚数
往路	8
復路	11
往復	19
4方向	34

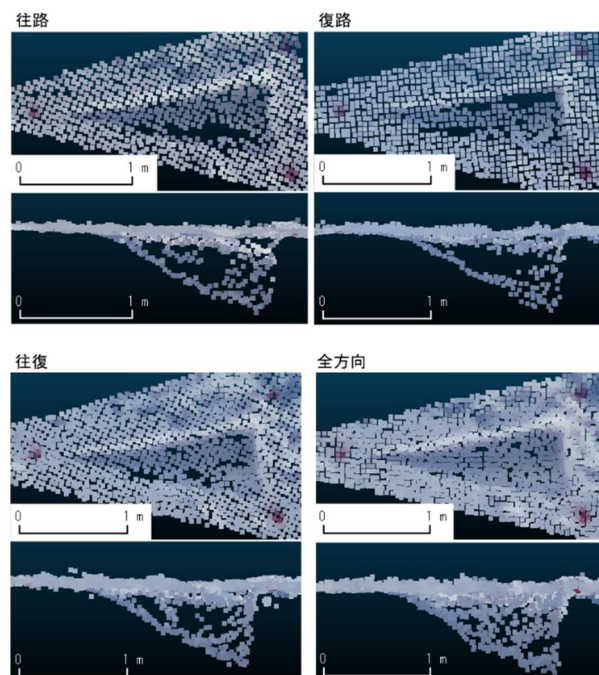


図-7 変状 1 の SfM 処理結果
（上：変状の上面図、下：変状の側面図）

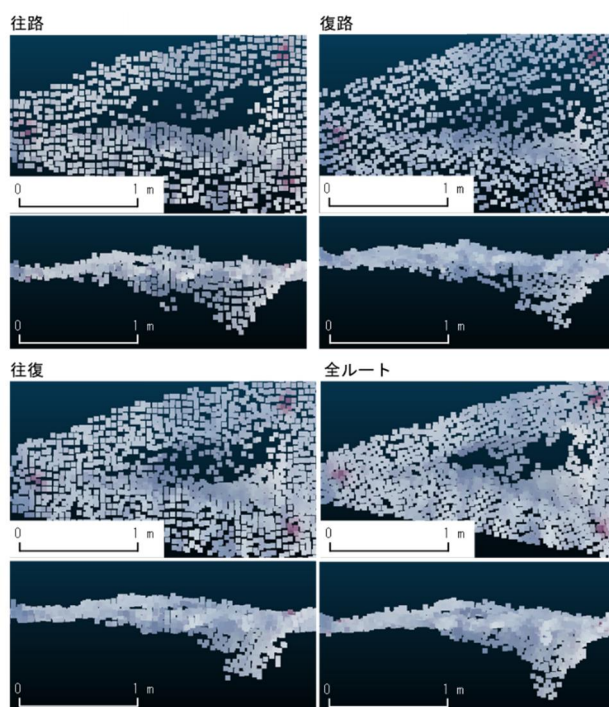


図-8 変状 4 の SfM 処理結果
（上：変状の上面図、下：変状の側面図）

表-6 点群データの測定に使用したソフトウェア

ソフト名	バージョン	ベンダー	国	価格
Cloud Compare	2.12.4	Daniel Girardeau-Montaut	フランス	無料

大深さ、長さのいずれも、実測値より 0～数十 cm 小さい数値で測定される傾向が見られた。特に斜面に作製した変状 4 の最大深さの測定値とは 50%

表-7 各変状の実測値と測定値との比較

単位 (mm)

変状		実測値	SfM計測結果											
			往路			復路			往復			全ルート		
			解析値	誤差	割合 (%)	解析値	誤差	割合 (%)	解析値	誤差	割合 (%)	解析値	誤差	割合 (%)
1	最大幅	750	690	-60	8	670	-80	11	720	-30	4	750	0	0
	最大深さ	870	740	-130	15	790	-80	9	770	-100	11	850	-20	2
	長さ	1,820	1,530	-290	16	1,620	-200	11	1,590	-230	13	1,620	-200	11
2	最大幅	800	660	-140	18	740	-60	8	680	-120	15	730	-70	9
	最大深さ	860	710	-150	17	670	-190	22	800	-60	7	850	-10	1
	長さ	1,920	1,720	-200	10	1,660	-260	14	1,710	-210	11	1,700	-220	11
3	最大幅	880	590	-290	33	680	-200	23	680	-200	23	800	-80	9
	最大深さ	900	800	-100	11	760	-140	16	840	-60	7	790	-110	12
	長さ	1,800	1,690	-110	6	1,660	-140	8	1,650	-150	8	1,640	-160	9
4	最大幅	750	730	-20	3	730	-20	3	660	-90	12	690	-60	8
	最大深さ	820	480	-340	41	530	-290	35	430	-390	48	570	-250	30
	長さ	1,870	1,730	-140	7	1,790	-80	4	1,600	-270	14	1,300	-570	30

近い差が生じている。その理由として、撮影した画像は、変状の最深部まで撮影されなかったため（図-6）、変状の再現性が低下したと考えられる。一方、平面に作製した変状は、最深部まで撮影できていたことから、斜面に作製した変状よりも再現性が高くなったと考えられる。

以上のことから、斜面に発生する変状の形状を正確に認識するには、変状の最深部まで撮影できるよう、撮影に工夫が必要である。

4. まとめ

実験場の積雪に三角錐の変状を作製し、UAVに搭載されたカメラを用いて変状を確認する冬季飛行試験を実施した。その結果、上空から撮影した画像で雪面上に発生する変状の有無は視認することは可能であるが、平面上と斜面上の比較では、斜面上の変状の方が視認性は劣っていた。一方、撮影した画像データを用いて SfM 処理することにより、変状の形状は明瞭になることを確認できたが、斜面に発生する変状によっては最深部の形状を確認できないことを認識した。そのため斜面に発生する変状の形状を正確に確認するには、変状の最深部まで撮影できるよう、撮影に工夫が必要である。

今後は、撮影データから効率的に変状を抽出する手法についても検討していきたい。

参考文献

- 1) 国土交通省関東地方整備局HP：直轄管理河川に係る地震発生時の点検について、
https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000112586.pdf?utm_source=chatgpt.com（2025.7.14確認）
- 2) 吉田智・山崎貴志・飯田美喜：積雪期における堤防変状の検知に向けた取組，建設施工と建設機械シンポジウム論文集・梗概集，pp.1-4，2024.
- 3) 国土交通省気象庁HP：石狩過去の気象データ検索，
https://www.data.jma.go.jp/stats/etrn/view/10min_a1.php?prec_no=14&block_no=1085&year=2025&month=01&day=22&view=p1（2025.7.14確認）