

2 時期の UAV 画像に基づく砂防設備の変状自動抽出

株式会社エイト日本技術開発
国土交通省関東地方整備局日光砂防事務所

○海原荘一・八木笙太・山中久幸
松下勇也・江口彰友・土田元気・工藤卓也・木下篤彦

1. はじめに

近年、砂防設備の点検で、安全確保や作業工効率の面で有利な UAV の活用が検討されており¹⁾、その利点は定期点検だけでなく大規模な地震や出水後に実施する臨時点検でも同様に享受することができる。臨時点検では、小規模な変状を判定するのではなく、顕著な変状の有無を早急に判断することが求められ、自動的な変状の有無の判定が望まれる。

臨時点検の作業の効率化の方法としては、変状の生じた砂防堰堤の画像を収集し、オーバーサンプリングして構築した機械学習モデルを適用するという選択肢があるものの、過学習の影響で不特定の画像に対しては、全く変状抽出できないという課題がある²⁾。その対策として、UAV により臨時点検前の画像とほぼ同じ画角で画像を取得し、全く同じ形状に変形して画像差分をとることで変状を自動的に抽出する試みが日光砂防事務所で行われている³⁾。本稿はその続編であり、その2 時期の UAV 画像に基づく砂防設備の自動的な変状抽出方法の改良を行ったものである。

2. 検討の経緯と本検討の概要

2.1 今までの 2 時期の画像による変状の自動抽出方法の概要

2.1.1 変状の自動抽出のための画像の取得方法

本研究は顕著な地震や出水後に実施する臨時点検を対象として変状抽出可能な自動抽出方法の構築のため、複数の点検業者での同時作業を想定していることから、高価なレーザー計測機搭載の UAV ではなく、汎用性の高い比較的安価な UAV を使用し、あらかじめ設定したコース、撮影ポイントと画角を指定して撮影した画像を処理することを想定している。

2.1.2 今までの検討における変状抽出方法の概要

今までに検討した変状抽出方法³⁾では、背景となる樹木の季節変化の影響を低減するため、着目範囲の抽出を目的として、Meta 社の DINOv2⁴⁾のセマンティックセグメンテーション機能を用いて砂防堰堤の範囲を抽出し、UAV の画像取得時の撮影位置と画角のずれの補正を目的として、点検前後の 2 時期の画像の特徴点と特徴量の抽出とそのマッチングを行い、画像の変換行列を求めて変形させ、ほぼ同じ形状に合わせ、画像の差分で変状を検出するという方法を検討した(図-1)。

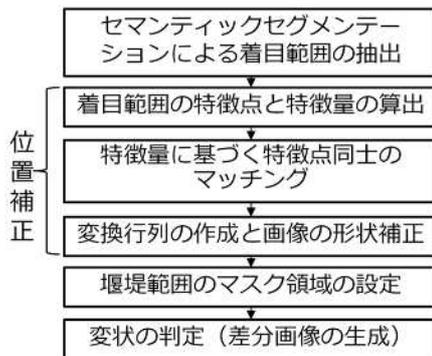


図-1 今までの変状の抽出方法

2.2 本研究の検討内容と今までの変状抽出方法の課題

2.2.1 本研究における検討対象画像の取得と検証方法
2 時期の画像に基づく変状抽出方法では、背景の季節変化や影の有無、撮影距離、撮影方向が及ぼす画像の位置合わせや変状判定への影響が課題と考えられたため、撮影時期を 3 時期・4 回(夏 2 回、秋、冬)、撮影距離を 3 種類(30m, 50m ズームあり, 100m ズームあり)、画角 2 種類(斜め・垂直)で取得した。なお、撮影には DJI 社の MAVIC3 Enterprise を使用した。対象とした砂防設備は砂防堰堤が 4 箇所、山腹工(吹付法枠等)が 1 箇所である。

臨時点検では、砂防堰堤のひび割れなどの規模の小さい変状は検知の対象ではなく、袖ブロックの移動や断面欠損などの砂防設備の機能の低下につながる顕著な変状を対象としているが、自動判定の検証用データを取得する必要がある。そこで、本研究では撮影した画像のうち、夏季のものを対象として検証用の変状を模した画像を作成した。既に変状が生じている砂防設備については、図-2 に示すように元の砂防設備の形状を模した画像を作成して検証に用いることとし、検証用に作成した夏の画像とその他の時期の画像を 2 つ組み合わせることで変状が判定できるかを検証することとした。

2.2.2 今までの変状抽出方法の課題

2.2.1 に示した変状抽出方法³⁾は、検討当時は少数の画像のみで検討していたこともあり、本研究で取得した画像での試行での課題や、検討当初から想定していた課題として、下記のようなものが挙げられる。

- (1) 着目範囲の抽出の課題: セマンティックセグメンテーションに使用している DINOv2 は変状抽出の着目範囲を適切に設定するための微調整ができない。
- (2) 位置補正における課題: 砂防堰堤の壁面の占有率が高い画像では、2 時期の画像の位置合わせのため特徴点が極めて少ないケースがあり、位置合わせに失敗する(図-3 にその例を示す。変化の少ない画像)。
- (3) 変状の判定における課題: 臨時点検はイベント発生後、可及的速やかに実施するものであり、UAV での撮影時間を限定するのは現実的ではないため、影となる部分があり、誤判定が生じる可能性がある。



図-2 変状のある設備の元の画像(左)と元の設備の形状を模した画像赤の破線は復旧した範囲(右)の例



図-3 特徴点と特徴量，マッチング，変換行列の作成による位置合わせに失敗した画像の例（画像に変化点が少ないためと考えられる）

3. 今までの変状抽出方法の課題への対応策

2.2.2 に示した各課題に対して，実際に選択した解決方法を以下に示す。

3.1 着目範囲の抽出に用いる解析モデルの変更

DINOV2 は大規模な教師データを使った多機能の画像解析の基盤モデルであり，基本性能は高いが，砂防堰堤を対象とした着目範囲の抽出における精度向上のためのモデルの微調整（ファインチューニング）ができない。そこで，着目範囲の抽出には DINOV2 のセグメンテーションモデルと同じアルゴリズムでファインチューニングが可能な SAM2 (Segment-Anything-Model-2) ⁵⁾に変更した。また，実際に着目範囲の抽出のため，砂防設備の画像等に基づいて，ファインチューニングを実施した。

3.2 位置補正方法の変更

日光砂防管内は，夏季（7月）と秋季（11月）で植生の状況が大きく異なり，2時期の画像の位置合わせに失敗する例が多かった。2枚の画像で同じ点と認識できる点が極めて少ないことが原因と考えられたため，特徴量の少ない画像でも位置合わせが可能な回転不変位相限定相関法 ⁶⁾で，2次元フーリエ変換・逆変換により，回転方向のずれとシフト量を求め，位置補正を行うよう変更を行った。

3.3 変状判定方法の変更

今までの変状抽出方法での着目範囲端部の差異による誤判定や，影の影響を防止するため，2時期の画像の差分ではなく，画像データの特徴量の違いにより変状を判定するセグメンテーションモデルを使った変化検出のプログラムである SAM-CD (Segment-Anything-Model-for-Change-Detection) ⁷⁾を採用することとした。画像の差分では，影の生じた部分の輝度値が差分に影響してしまうが，SAM-CD では影があっても同じものであるという学習をしており，影の影響を受けにくいと考えられる。SAM-CD では 2 枚の画像の特徴量を Fast-SAM というセグメンテーションモデルで求め，着目すべき範囲について，違いがある範囲について，ピクセルごとに変状が生じている確率を出力することができる。図-4 に SAM-CD の変状抽出の流れを示す。

4. 変状判定の試行結果

図-5 に前述の改善された変状判定方法での判定事例を示す。判定精度は，撮影距離や撮影時期の違い，堤体材料（コンクリート，石積）によっても異なる。撮影距離については 30m よりも 50m・100m でズーム(7倍)にした方が，また，鉛直よりも斜め方向の画角精度（空振り率・捕捉率）が良好であった。季節については同じ季節の方が判定精度は良好であった。比較的判定精度の良い砂防堰堤については，捕捉率は 7 割程度，空振り率は 1 割未満（般若沢第 3 床固工の値）であった。

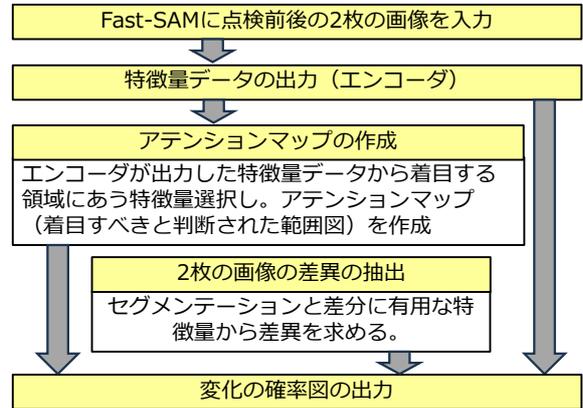


図-4 SAM-CD による変状抽出の流れ

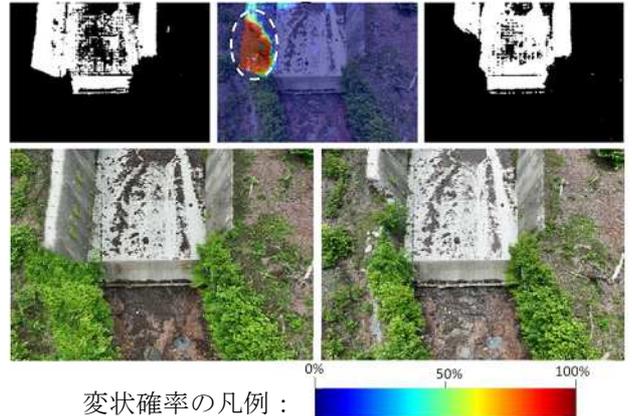


図-5 SAM-CD による変状抽出の例（左下：変状なしの画像，左上：その着目範囲，右下：変状ありの画像，右上：その着目範囲，上側中央：変状の確率図

5. おわりに

本検討では 2 時期の UAV で取得した画像に基づく自動判定方法を改良し，撮影条件を変化させ網羅的に試行を行った。撮影条件等が判定精度に影響する結果となった。臨時点検では，予め定めた撮影位置・画角で撮影して位置合わせを行い，図-5 に示すような出力を行うことで，作業効率は十分向上すると考えられるが，今後は，変状の自動判定の実用化に向けて臨時点検に適した撮影条件の絞り込みや，判定モデルのファインチューニングによって更なる精度向上を図り，システム構築を目指したい。

参考文献

1) 大規模土砂災害対策技術センター：UAV の自律飛行による 砂防関係施設の自動巡視・点検 に関する手引き，紀伊山系砂防事務所 HP, 2023. 2) 海原ら：機械学習による砂防堰堤の変状の自動抽出，令和 6 年度砂防学会研究発表会概要集，p.411-412, 2024. 3) 八木ら：UAV 画像解析による砂防施設の緊急点検時の変状自動判定手法の検討，令和 6 年度砂防学会研究発表会概要集，p.321-322, 2024. 4) Oquab, et al. : DINOV2: Learning Robust Visual Features without Supervision, arXiv:2304.07193, 2023. 5) SAM2 : <https://github.com/facebookresearch/segment-anything-2> 6) 回転不変位相限定相関法による画像マッチング(1), <https://www.soaristo.org/blog/archives/2015/02/150222.php#gsc.tab=0> 7) Lei Ding et al. : Adapting Segment Anything Model for Change, Detection in VHR Remote Sensing Images, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Volume.62, 2024.