

河川砂防技術研究開発【成果概要】

①研究代表者		氏 名 (ふりがな)	所 属	役 職	
		中村 明彦 (なかむら あきひこ)		アジア航測 (株)	事業部長
②技術研究 開発テーマ	名称	A I による堤防変状箇所 of 効率的な抽出に関する技術研究開発			
③研究経費 (単位: 万円) ※端数切り捨て。		令和元年度	令和2年度	令和3年度	総 合 計
		842 万円	1,404 万円	701 万円	2,948 万円
④研究者氏名 (研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。)					
氏 名		所属機関・役職 (※令和4年3月31日現在)			
戸村 健太郎		アジア航測(株)・技術部長			
篠原 光礎		アジア航測(株)			
野中 秀樹		アジア航測(株)・課長			
小宮 佑登		アジア航測(株)			
小森 惇也		アジア航測(株)			
堀田 一弘		名城大学・教授			
早川 雅人		名城大学・大学院生			
河野 文俊		三井共同建設コンサルタント・副事業部長			
名尾 耕司		三井共同建設コンサルタント・技師長			
⑤研究の目的・目標 (様式河水-1、河水-2に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい。)					
●研究目的					
<p>航空レーザ計測 (以下、LP)、航空レーザ測深 (以下、ALB)、車載型レーザ測量 (以下、MMS)、地上 LP、UAV による写真・レーザ計測 (以下、UAV) など様々なプラットフォームで取得された河川堤防周辺の三次元地形データを解析し、A I による深層学習の技術を用いて、主に国土交通省が管理する大河川を対象とした堤防変状・損傷箇所の抽出に関する技術を開発した。</p> <p>この技術を用いてスクリーニングすることで、堤防点検の省力化や効率化、変状判定の定量化が期待できるほか、災害対応における状況把握などにも有効である。</p>					
●研究目標					
【1年目】点群 AI による変状自動検出技術の開発					
<p>点群データを直接用いて AI による深層学習を実施するための手法として「KPCConv」を選定した。試行計算では、堤防変状の種類のうち形状が明瞭である陥没やガリ侵食を対象として、三次元点群データを学習し、AI による自動抽出 (以下点群 AI) を検証し有効であることを確認した。また、各センサーの特徴 (点群密度・計測可能箇所等) を整理し、堤防変状の点群データを取得する際の基本情報をとりまとめた。</p>					
【2年目】点群 AI の検出率向上					
<p>堤防変状のうち、形状が不明確な寺勾配やはらみ出しを対象とした点群 AI を検討した。また検出率の向上については、他河川における堤防点検箇所の変状データを追加した。一方、変状を模擬した関東技術事務所の不具合堤防を対象に各計測技術により取得された点群データを用いて、センサーの違いによる検出精度や検出率の違いを整理した。</p>					
【3年目】画像 AI による補足技術の確立					
<p>全ての堤防変状を対象に点群 AI を試行した上でその可否を整理した。また点群 AI による自動抽出が困難な変状については、画像データによる AI の自動抽出 (以下画像 AI) で検討した。さらに、これまでの研究成果や文献等をもとに、各センサーにおいて抽出可能な変状およびコストを整理した。判定手法は前述の点群 AI、画像 AI に加え、二時期差分による抽出の 3 手法を対象とした。</p>					

⑥研究成果

【対象とするセンサーの概要】

本研究では、点群密度等の異なる5種類のセンサーを用いた(表1)。

表1 各センサーの特徴

種類	写真	写真	点群データ (カタログ値)	取得情報	1日当たり取得距離
航空レーザー計測 LP/ALB		・解像度: 10cm ・種類: 垂直・斜め ・点群データと同時に取得可能	・10点/m ²	・高さ ・反射強度	約30km
UAV測量 LP/ UAV_SfM		UAVLP: 写真無 UAVSfM: ・解像度: 2cm ・種類: 垂直・斜め	UAVLP: 100点/m ² UAVSfM: 1,000点/m ²	UAVLP: 高さ ・反射強度 UAVSfM: 高さ(地表面)	UAVLP: 約0.5~2km UAVSfM: 約2~5km
車載型レーザー測量 MMS		・解像度: 1cm ・種類: 全周囲 ・点群データと同時に取得可能	・1,000点/m ²	・高さ ・反射強度	約10km
除草機設置型レーザー測量		・解像度: 1cm ・種類: 斜め ・点群データと同時に取得可能	・10,000点/m ²	・高さ ・反射強度	約1~2km
地上レーザー測量		—	・10,000点/m ²	・高さ ・反射強度 ・色付き点群	約0.5~1km

【自動検出に用いるAIモデル】

●点群AI: KPConv

点群データを直接学習できるモデルである KPConv を採用した(図1)。これは DeepLearning 手法の一つであり、点群の順不変性(点の空間分布配置を再現可能)や剛体変換不変性(点群の回転・移動・拡張を考慮した学習・判定が可能)を特徴とし、本研究で使用した。

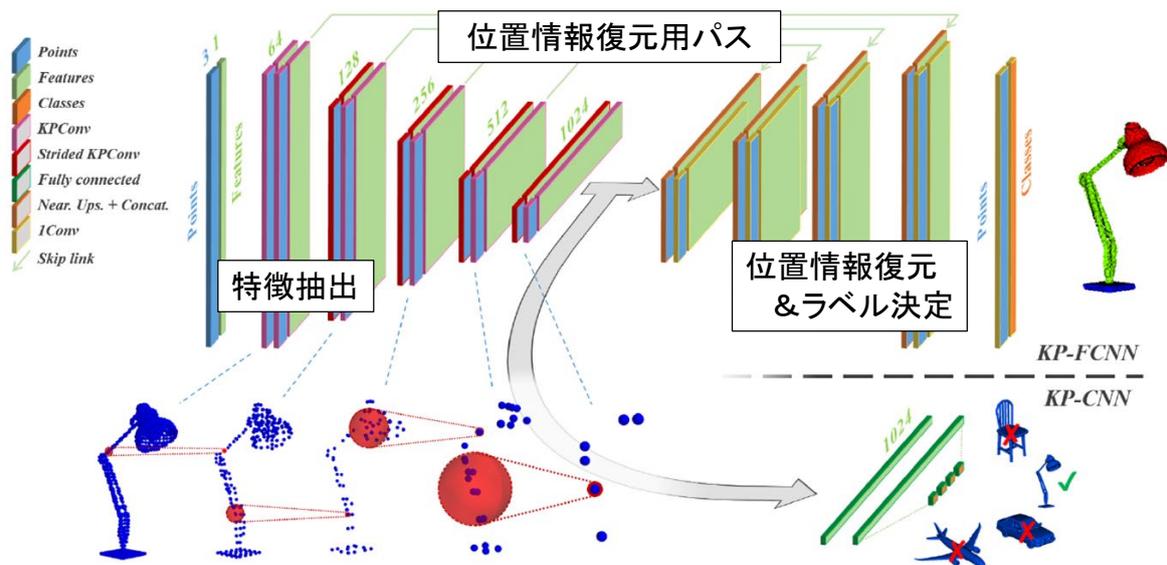


図1 KPConvの概念図

●画像AI: OCRNet

画像データを直接学習できるモデルである OCRNet を採用した (図 2)。これはセマンティック・セグメンテーション (画像中の全ピクセルを分類する手法) で変状箇所を抽出することを特徴とし、本研究で使用した。

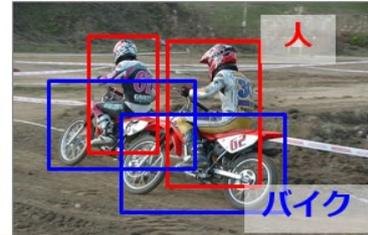
入力画像



①物体識別

バイク 65%
馬 20%
車 15%

②物体検出



③セマンティック・セグメンテーション



④インスタンス・セグメンテーション

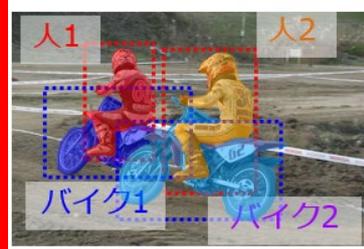


図2 セマンティック・セグメンテーションの概念図

【対象とする堤防変状および判定手法のすみわけ】

対象とする堤防変状は「堤防等河川管理施設の点検結果評価要領」で定義される土堤の 12 変状とした (図 3)。これまでの研究成果を整理し、点群で変状形状を把握可能と想定されたのは 7 変状、画像で変状形状を把握可能と想定されたのは 5 変状であった (樹木の侵入は点群でも判定可能と推定されるが、画像による AI 判定の方が簡易的に実施可能と想定)。

対象変状	[1]亀裂				[2]不陸				[3]法崩れ				[4]沈下			
[1]亀裂																
[2]陥没や不陸																
[3]法崩れ																
[4]沈下																
[5]堤脚保護工の変形																
[6]はらみ出し																
[7]寺勾配																
[8]モグラ等の小動物の穴																
[9]排水不良																
[10]樹木の侵入																
[11]侵食(ガリ)																
[12]漏水・噴砂																

緑:画像で判定可能 青:点群で判定可能
(樹木の侵入は画像によるAI判定が簡易的に実施可能と想定)

図3 対象とする堤防変状

【点群 AI による自動変状抽出結果】

点群 AI による自動変状抽出を 3 地区で行った。判定の結果、5 変状（陥没や不陸・法崩れ・沈下・寺勾配・侵食）とも一定の精度で AI による抽出ができた（図 4、表 2）。

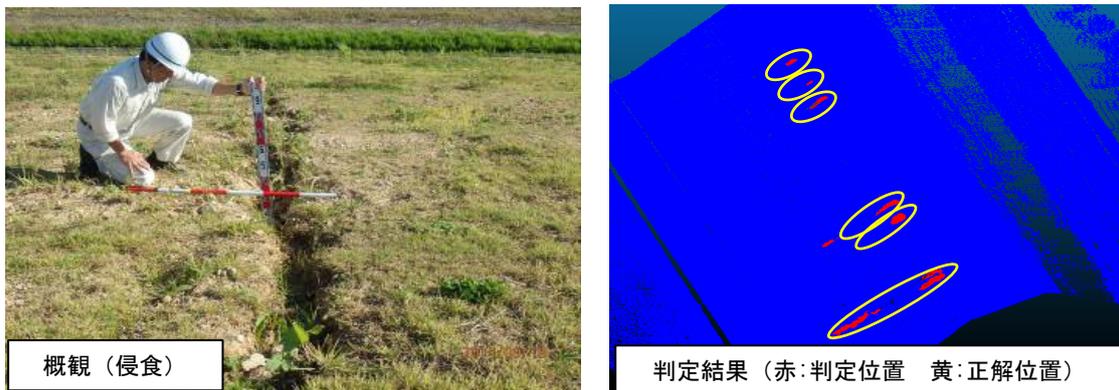


図 4 点群 AI の判定結果例（阿賀川 MMS の侵食）

表 2 点群 AI による抽出結果（左：判定変状数 右：正解変状数）

判定場所	阿賀川	円山川	関東技術事務所 不具合堤防
センサーの種類	MMS	CALSOK	UAVSfM
[2] 陥没や不陸	(変状無)	6/6	3/3
[3] 法崩れ	(変状無)	(変状無)	6/6
[4] 沈下	(変状無)	0/1	3/3
[6] はらみ出し	(変状無)	(変状無)	(変状無)
[7] 寺勾配	(変状無)	(変状無)	2/3
[8] モグラ等の小動物の穴	(変状無)	(変状無)	(変状無)
[11] 侵食	6/6	(変状無)	2/6

その他にも、点群密度の低い ALB で AI 判定を行った結果、変状サイズの大きい寺勾配を抽出できた。

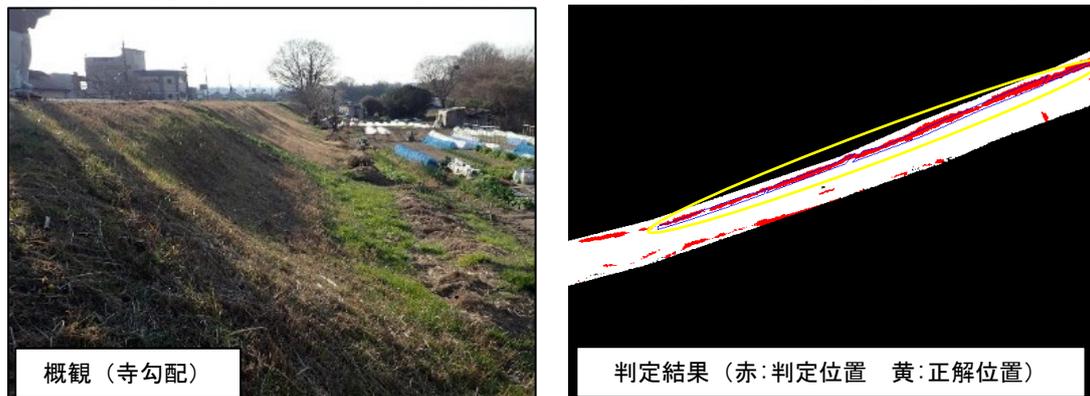


図 4 点群 AI の判定結果例（木津川 ALB の寺勾配）

【画像 AI による自動変状抽出結果】

画像 AI による自動変状抽出を 1 地区で行った（変状は亀裂・堤脚保護工の変形・樹木の侵入・漏水・噴砂の 4 変状）。判定の結果、3 変状で AI による抽出ができた（図 5、表 3）。判定できなかった堤脚保護工の変形については、既往文献により二時期差分で変状確認が可能であるとされている。

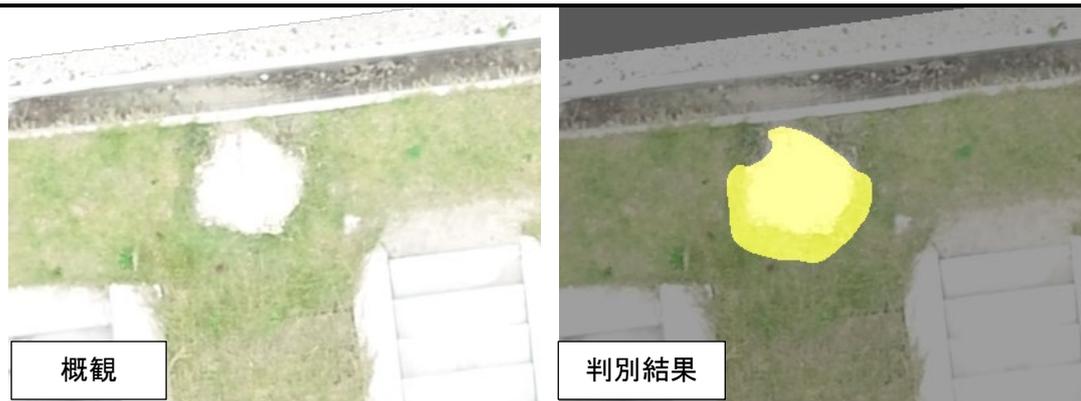


図5 画像AIの判定結果例（噴砂）

表3 画像AIによる抽出結果（左：判定変状数 右：正解変状数）

判定場所	東北技術事務所 不具合堤防
センサーの種類	UAV
[1] 亀裂	6/10
[5] 堤脚保護工の変形	0/2
[9] 排水不良	(変状無)
[10] 樹木の侵入	2/2
[12] 漏水・噴砂	1/2

【各センサーと判定可能な変状の整理】

これまでの研究成果や文献等をもとに、各センサーにおいて抽出可能な変状およびコストを整理した。判定手法は前述の点群AI、画像AIに加え、二時期差分による抽出の3手法とした。整理した結果、UAV（画像+SfM）は全変状を判定可能であり、堤防点検等で活用可能なことが示唆された。また災害発生直後等の緊急時における変状確認ではLP/ALBが活用可能なことが想定される（表1）。

表2 センサーと判定可能な変状整理例（UAVの事例）

センサー		判定に必要な条件	判定可能と想定される変状項目			特徴 赤字：メリット 青字：デメリット
種類	諸元		点群-二時期 差分	点群-AI	画像-AI	
UAVSfM	点群密度：100点/m ² 走行可能距離：2km/日 必要人数：2人/日 計測コスト：約20万円/km 現地作業コスト：約2万円/km	【天端】 植生：原則植生無（未舗装の場合は除草・集草済） 変状サイズ：5cm×5cm以上	【天端】2・4 【法面】2・3・5・6・7・8・11 【法尻】8・10	【天端】2 【法面】2・3・6・7・8・11 【法尻】8・10	-	【堤防点検等で活用】 ・変状：全変状を判定可能 ・計測：画像・点群両方のデータを同時取得可能。 ・1日あたりの計測距離が短く、データ取得に時間がかかる。 ・SfMは植生による影響で変状が確認しにくくなるため、除草・集草後に実施することが望ましい。
UAV画像	解像度：1cm 走行可能距離：2km/日 必要人数：2人/日 計測コスト：約20万円/km 現地作業コスト：約2万円/km	【法面・法尻】 植生：除草・集草済 変状サイズ：5cm×5cm以上 差分による高低差：±6cm以上	-	-	【天端】1 【法面】12 【法尻】9・10	

1：亀裂 2：陥没や不陸 3：法崩れ 4：沈下 5：堤脚保護工の変形 6：はらみ出し 7：寺勾配
8：モグラ等の小動物の穴 9：排水不良 10：樹木の侵入 11：侵食 12：漏水・噴砂

【「一般研究」の場合記載】

⑨研究成果の社会への情報発信

(ウェブ、マスメディア、公開イベント等による研究成果の情報発信について記入下さい。ウェブについてはURL、新聞掲載は新聞名、掲載日等、公開イベントは実施日、テーマ、参加者数等を記入下さい。)

※記載無

【「一般研究」の場合記載】

⑩表彰、受賞歴

(単なる成果発表は⑧⑨に記載して下さい。大臣賞、学会等の技術開発賞、優秀賞等を記入下さい。)

※記載無

【「一般研究」の場合記載】

⑪研究の今後の課題・展望等

(研究目的の進捗状況・達成状況や得られた研究成果を踏まえ、研究の更なる発展や河川政策の質の向上への貢献等に向けた、研究の今後の課題・展望等を具体的に記入下さい。)

●学習データの増強

点群 AI および画像 AI の判定結果のうち、学習データ数を増加することで判定精度が向上するという方向性を確認した。このことから、引き続き学習データ数を増強することで更なる精度向上が期待される。特に UAV-SfMを用いた AI 判定については、今回の研究では不具合堤防のデータのみでの学習であったため、今後は実堤防にける変状計測データを複数取得し増強する必要がある。

●計算時間の短縮

今回選定した UAV_SfM による手法は、現時点では安価で精度よく抽出できる最適な手法であると考えられるが、一方で点群データの密度が高く、AI 判定に時間が掛かりすぎることが課題である。UAV により取得する画像解像度にも起因するが、関東技術事務所の不具合堤防での事例では、1 km あたり 20 時間程度の時間を要すると試算された。そのため今後は、AI 判定に用いる手法やデータの間引きなどを検討し、高速化をすすめることで、現場実装がより現実的になる。

また判定精度は AI 内で繰り返し計算を行う回数に依存しており、現時点で 100 回実施することとしているが、今後学習データ数を増強し AI モデルの判定精度向上を図ることで、繰り返し計算回数を軽減することで、時間短縮に貢献できる可能性がある。

●判定結果の評価

AI 判定に用いられるパラメータとして確信度を用いているが、その閾値設定を変えることで見逃し率や空振り率などが変わることが課題である。現時点では学習データ数が少ないことから確信度が低くなっているために生じる課題であるが、今後学習データ数を増強しモデルの精度を向上させることで、閾値設定に寄らない安定した解析結果が出力できるようになる。

【「一般研究」の場合記載】

⑫研究成果の河川砂防行政への反映

(本研究で得られた研究成果の実務への反映等、河川政策の質の向上への貢献について具体的かつ明確に記入下さい。)

本研究の成果を用いて AI によるスクリーニングを事前に実施し、点検箇所を絞り込むことで、従来点検手法の効率化や省力化、定量化に繋がる効果が期待される。一方、洪水や地震等の災害時において、堤防の被害全容を効率的かつ迅速に把握する手法としても有効と考えられる。