

砂防堰堤における洗掘詳細調査への水中ドローン活用検討

国土交通省四国地方整備局 四国山地砂防事務所 平澤良輔, 向山正純, 松岡高志^{※1}, 三野汰晟^{※2}, 宮崎巴葉^{※3}
 アジア航測株式会社 ○鈴木心, 本間文徳, 上杉温子, 新井瑞穂, 太井正史
 株式会社ジュンテクノサービス 高橋正起

(現所属) ^{※1} 四国地方整備局徳島河川国道事務所 ^{※2} 四国地方整備局大洲河川国道事務所 ^{※3} 新潟県糸魚川地域振興局

1 はじめに

砂防堰堤の定期点検は、通常、作業員による目視点検や UAV を用いた空撮により変状を把握する。しかし、水褥地の水面下は視認性が低いため、目視や空撮では洗掘の把握が困難である。この課題に対し、水中ドローン（以下、「ROV」と称す。）を活用することで、水中の詳細な変状把握が可能となることが期待されている。

ROV を用いた砂防堰堤の洗掘調査は過去にも実施されているが、カメラ映像による確認にとどまり、洗掘深や亀裂幅などの変状を定量的に把握できないといった課題が指摘されている¹⁾²⁾。

そこで本検討では、砂防設備の洗掘を定量的に把握することを目的として、ソナーを搭載した ROV を用いた洗掘詳細調査を実施し、その有効性を検証するとともに課題を整理した。

2 実施内容

2.1 対象地

本検討では、既往の点検において洗掘が確認されている砂防堰堤（変状レベル b または c）4 基を対象として、ROV による詳細点検を実施した。

2.2 使用機体

使用機体は、ソナーを搭載可能な小型 ROV とした。機体の詳細を表 1 に示す。

2.3 検討内容

2.3.1 洗掘の詳細点検

ROV に搭載した 4K カメラにより洗掘位置を把握した後、ソナーを用いて洗掘形状を計測した。ソナーは水平方向に照射されるため、洗掘の幅の計測は機体を水平方向に、洗掘の奥行と高さは機体を横向きに 90° 回転させ、鉛直方向にソナーを照射して計測した（図 1）。

2.3.2 潜水士による点検との比較

ROV による洗掘調査の有効性を検証するために、従来の洗掘調査手法である潜水士による直接目視点検も同時に実施し、点検精度・作業時間・点検コストを比較した。

2.3.3 洗掘の進行度合い把握

ROV を用いて取得した複数時期のデータ比較により洗掘の進行度合いを把握することを目的として、洗掘前の砂防設備に見立てた模擬体（ペニア板）を洗掘部に配置し、配置前後の形状をソナーで計測した（図 2）。その後、得られた 2 時期の断面形状を重ね合わせ、洗掘の進行量を定量化した。なお、点検対象施設のうち最も洗掘が顕著であった堰堤 1 基を対象に実施した。

3 試行結果

3.1 洗掘の詳細点検結果

点検の結果、詳細点検を実施した 4 基すべてで洗掘が確認された。カメラ映像により洗掘の有無が把握可能で、さらにソナー計測により、洗掘の深さ・奥行きをセンチメートル単位で定量的に把握できた。ただし、落水部付近は気泡の影響を受けるため、ソナーによる定量把握は困難であった。

また、洗掘が顕著であった 2 基の堰堤では変状レベルが再評価され、そのうち 1 基では健全度評価が B から C へ変更された。ROV を用いて洗掘を定量把握することで、点検精度が向上し、従来の目視点検をもとにした健全度評価が変更となる場合がある。

表 1 ROV の詳細

外観 (ソナー搭載時)	
サイズ (W×D×H) (ソナー搭載時)	430mm×345mm×285mm
重量	6.7kg
稼働時間	1~2.5 時間
最大深度	200m
最大速度	1.5m/s
カメラ解像度	4K (3,840×2,160)

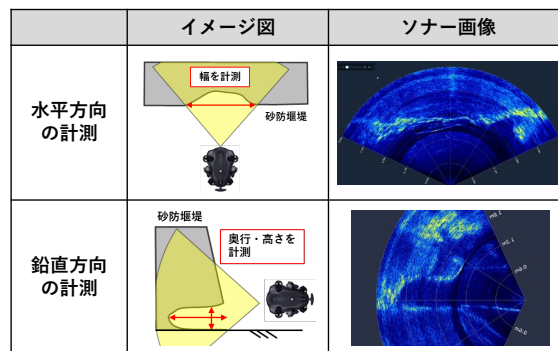


図 1 断面計測の模式図

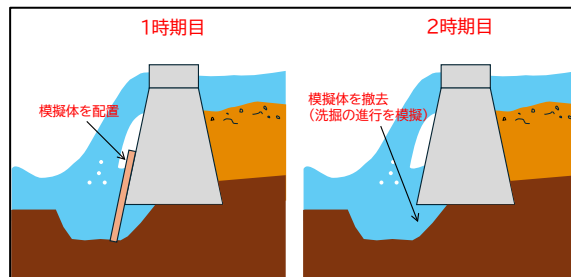


図 2 模擬体配置の模式図

3.2 潜水士による点検結果との比較結果

3.2.1 点検精度の比較

潜水士とROVで計測した洗掘の高さと奥行を比較した(表2)。計測差は概ね10cm前後であり、ROVは潜水士と同等の点検精度を有することが確認された。奥行の計測差が37cmとなった箇所については、潜水士では正確に計測できない奥深くまで洗掘が進行していたことが原因であった(図3)。この結果から、狭い場所や暗い場所等の潜水士による目視確認が困難な箇所の点検において、ROVの活用が有効であることが示された。

3.2.2 点検時間の比較

ROVの活用により、4基中2基で、1断面あたりの作業時間が潜水士による点検よりも14~20%短縮された。また、計測断面数が多い施設ほど作業効率が向上する傾向があった。さらに、ROVは装備準備・片付けが簡便であることから、ROVの活用により作業時間の短縮が期待される結果となった。

3.2.3 点検コストの比較

ソナー搭載型ROVは機材価格が高額なため、点検コストは潜水士よりも2.0倍~2.9倍高い結果となった。ただし、機材費を考慮せず人件費のみを比較した場合は、すべての施設でROVの方が低コストとなった。

3.3 洗掘の進行度合い把握結果

2時期の断面形状を重ね合わせることで、どの程度洗掘が進行したかを定量的に把握できた。一方で、重ね合わせの際に特徴点の抽出や位置合わせが難しいこと、ソナー搭載ROVは位置情報を取得できないため同一位置での計測に時間を要することが課題となった。

4 おわりに

本検討の結果から明らかとなった、ROVを活用して洗掘調査を行う利点と課題を以下に示す。

4.1 ROV活用の利点

(1) 安全性の向上

潜水士の潜水作業が不要となり、特に冬季の低温環境における安全性向上が期待できる。また高度な資格を必要とせず、作業員が操作可能である。

(2) 点検精度の向上、濁度の高い環境での計測

ソナーの活用により、水中部の洗掘形状を定量的に把握できる。また、濁度が高く目視が困難な箇所でも洗掘形状を計測できる。

(3) 点検の効率化

準備作業や安全管理に要する時間が短縮され、特に計測箇所が多い場合に効率化が期待できる。

4.2 水中ドローンを活用する上での課題

(1) 調査環境による制約

小型ROVは機体と送信機を有線でつなぐため、ケーブルが障害物に絡むリスクがある。また、流速が速い場所では姿勢制御が難しく、断面計測が困難となる。

(2) 気泡による制約

ソナーは気泡の影響を受けるため、落水部付近では

洗掘計測が困難な場合がある(図4)。

(3) コストの制約

ソナー搭載型ROVは機体が高額であり、導入および運用コストが課題となる。

参考文献

- 鈴木ら(2022):砂防施設の洗掘状況の調査方法について、令和4年度砂防学会研究発表会概要集, p.183-184
- 水流ら(2020):UAVと水中ドローンを用いた砂防堰堤の変状レベル評価について、2020年度砂防学会研究発表会概要集, p.737-738

表2 潜水士とROV(ソナー)の計測差

計測箇所名	潜水士		ROV(ソナー)		「潜水士」-「ROV」	
	D(奥行)	H(高さ)	D(奥行)	H(高さ)	D(奥行)	H(高さ)
西山谷第2号堰堤①	0.9	0.3	0.76	0.30	0.14	0.00
西山谷第2号堰堤②	1.1	0.1	1.16	0.13	-0.06	-0.03
西山谷第2号堰堤③	1.0	0.3	0.88	0.29	0.12	0.01
西山谷第2号堰堤④	0.1	0.1	0.20	0.13	-0.10	-0.03
蔭地谷第3号堰堤①	0.8	1.0	0.95	0.97	-0.15	0.03
蔭地谷第3号堰堤②	0.5	0.8	0.67	0.67	-0.17	0.13
柳谷第1号堰堤①	2.0	0.8	2.37	0.72	-0.37	0.08
柳谷第1号堰堤④	0.2	1.0	0.22	1.03	-0.02	-0.03
柳谷第1号堰堤⑨	0.7	1.0	0.80	1.01	-0.10	-0.01
中村堰堤①	-	1.0	-	1.0	-	0.00
中村堰堤②	-	1.0	-	1.0	-	0.00

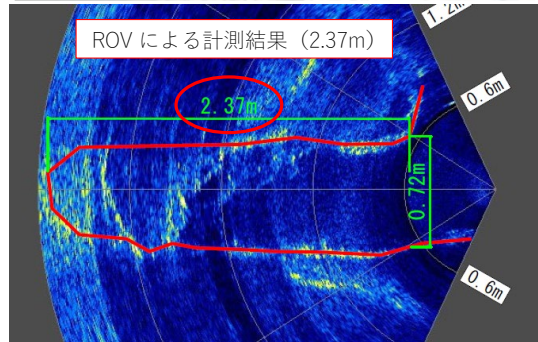
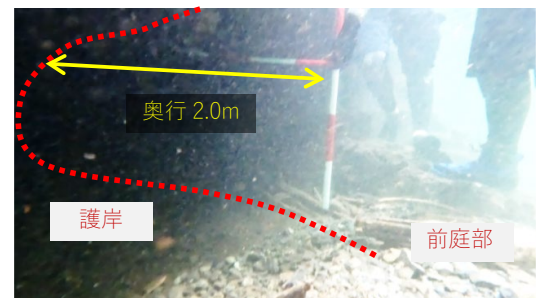


図3 潜水士とROVの計測差が大きい事例 (上:潜水士点検,下:ROV点検)

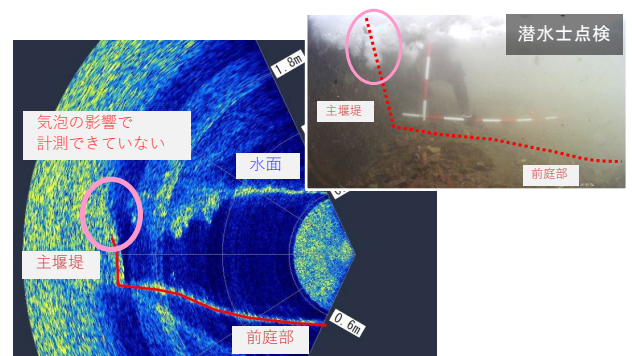


図4 気泡の影響により計測が困難な事例