

革新的河川技術プロジェクトを 活用した河川管理の高度化

国土交通省（前）水管理・国土保全局 河川計画課 河川情報企画室 課長補佐
（現）関東地方整備局 荒川調節池工事事務所長

よねざわ ひろき
米沢 拓繁

水管理・国土保全局 河川環境課 河川保全企画室 課長補佐

ふじはら しんいち
藤原 真一

保全技術係長

たがや じゅんべい
多賀谷 淳平

1. 革新的河川技術プロジェクトとは

近年、気候変動の影響により我が国では毎年のように全国各地で甚大な被害をもたらす水害や土砂災害が発生しており、国民の生命・財産を守る防災・減災、国土強靱化は一層重要性を増している。一方で情報通信技術は日進月歩で新技術が開発され、さまざまな分野で実装が進められている。

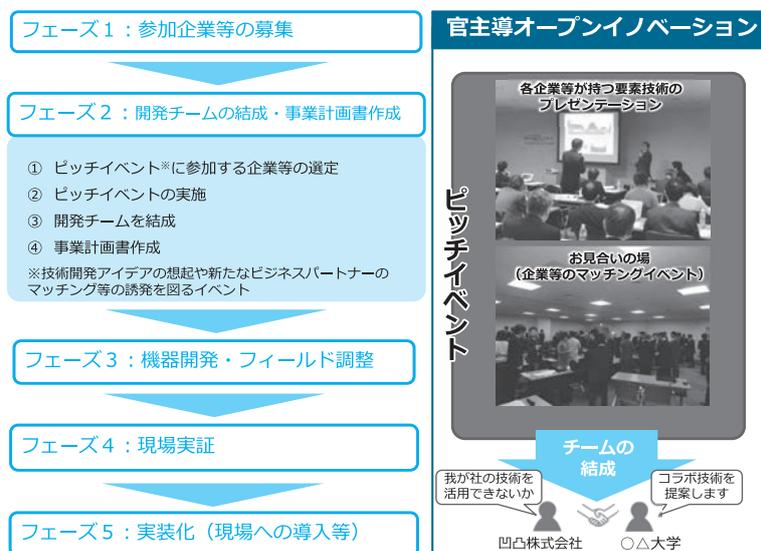
国土交通省 水管理・国土保全局では現下の政策課題を解決するため、先端的な情報通信技術を積極的に活用し、産学官連携による技術研究開発

を促進する枠組み「革新的河川技術プロジェクト」（以下、「本プロジェクト」という）を有している。

本プロジェクトでは、必要とする機器等を短期間に製品化させるため、企業等が有する要素技術を組み合わせるオープンイノベーション型（異分野連携型）を採用している。

これにより自社だけでなく他社や大学、地方自治体、起業家など異業種、異分野が持つ技術やアイデア、サービス、ノウハウ、データ、知識などを組み合わせ、革新的なビジネスモデル、製品・サービス開発、ソーシャルイノベーション等につなげることを狙いとしている。

具体的には、国土交通省がリクワイヤメント



図－1 技術開発ステップとピッチイベントの様子

(要求仕様)を提示して、各要素技術を持つ企業等を募集し、「ピッチイベント(企業間お見合い)」を開催することにより、新技術やアイデアを有するビジネスパートナーのマッチングを積極的に進め、スピード感をもって河川管理への実装化を図っている(図-1)。

本稿では本プロジェクトのうち、2021年10月～2024年3月において実施した第六弾、護岸構造物「空洞化点検の高度化」の技術開発について紹介する。

2. 河川点検におけるこれまでの課題

堤防等河川管理施設の維持管理における河川点検は、「堤防等河川管理施設及び河道の点検・評価要領(国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課/令和5年3月)」(以下、「点検評価要領」という)に基づき実施している。従来の河川点検では目視による点検を実施することとなっていたが、令和5年3月の点検評価要領の改定では、目視による点検に加え、「その他適切な手法として新技術の活用による現場作業の効率化・高度化に取り組むこと」の旨を記載している。

護岸構造物の背面の空洞化点検については、従来、目視や打音等による概略の点検が実施され、異常が確認された箇所においては、必要に応じて部分的に人力による手押し式や治具を利用した地中レーダを使用し、急傾斜地、高所作業等で足場を設置するなどの安全面でのリスクを考慮した詳細な点検が行われているところである。

また、河川における護岸は、長大な河川管理施設であり、流水の作用から河岸または堤防を保護する役割があるため、堤防の決壊や河岸崩壊などの災害を起こさないためには、定期的かつ変状等の発見の漏れがないような点検が重要となる。しかし、従来の空洞化点検の手法では、点検者が対象施設の上で作業する必要があるため、護岸の状態によっては崩落に巻き込まれるなど安全面でのリスクが伴ってしまう(写真-1)。また、広域的な

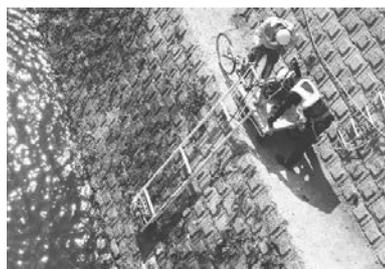


写真-1 従来の急勾配護岸の空洞化点検の例

状態把握を行うには現場作業の日数等、コストがかかってしまうことが課題となっている。

3. 第六弾 護岸構造物「空洞化点検の高度化」の目的・内容

(1) 目的

前述のとおり、従来の河川護岸の空洞化点検は、調査時の安全面でのリスク、広域的な調査を行う場合に要する時間や費用等を課題として抱えている。以上の背景から、護岸構造物の背面の空洞化を自動検出する自動(自律)または遠隔式移動機器および点検技術の開発により、護岸構造物空洞化点検の作業の安全性を向上させ、概略・詳細の2回実施する点検作業を1回に集約できる効率化および高度化を図ることを目的に技術開発を行った(図-2)。



図-2 第六弾 護岸構造物「空洞化点検の高度化」の概要

(2) 現場実証の内容

現場実証は、国土交通省 関東地方整備局 関東

技術事務所の点検用不具合堤防や利根川水系坂川等の実河川 5 河川 7 箇所を実施した。

また、空洞化を感知する手法は、これまでの点検において実績のある接触式および非接触式の地中レーダを搭載した調査機器を用いることとした。機器の仕様にあたっては、①護岸の表面形状を考慮した非接触式地中レーダを搭載したローバー型、②比較的凹凸の少ない護岸を想定し、探査の効率性を重視し接触式地中レーダを搭載したカート型、③急勾配の護岸を点検することを想定した接触式地中レーダを搭載した壁登り型、④突起や起伏の多い現場におけるドローンに非接触式地中レーダを搭載した飛行型による開発を行った。

さらに、ローバー型およびカート型においては、自律走行が可能であることから、さらなる高度化を図るため、自律型も含め、現場実証を行った（図-3）。

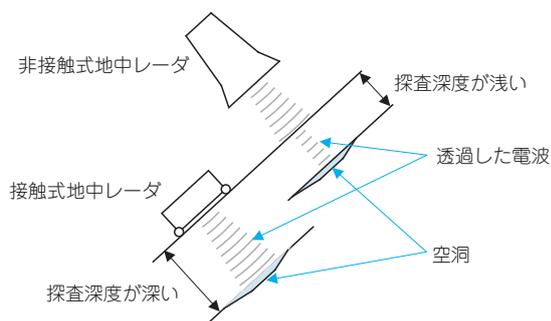


図-3 地中レーダによる空洞化点検 概念図

なお、現場実証にあたっては、緩勾配護岸（1：2.0より緩い護岸）、急勾配護岸（1：1.5より急な護岸）に分類して行った。

4. 開発した機器と実証実験を踏まえた適用範囲

(1) 開発した機器

① 自律型空洞探査ロボット

自律型空洞探査ロボットは、自律走行が可能なローバーと単体・複数地中レーダアンテナを組み合わせた非接触式地中レーダ搭載ロボットである（表-1、写真-2、3）。

表-1 自律型空洞探査ロボットの仕様

| 項目 | ACR-M仕様 | ACR-S仕様 |
|---------|------------------------------|--------------------------|
| 寸法 | 1,050 mm × 1,300 mm × 600 mm | 600 mm × 550 mm × 600 mm |
| 探査測線 | 2測線 アンテナ間隔変更可能 | 1測線 |
| 探査可能部材厚 | 0.25 m | 0.25 m |

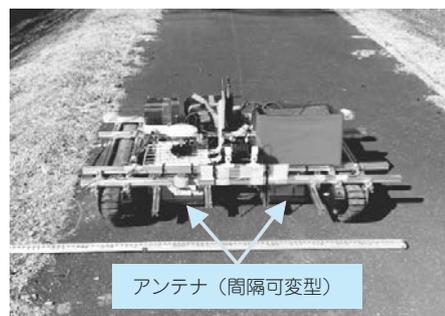


写真-2 ACR-M（探査測線：2測線）

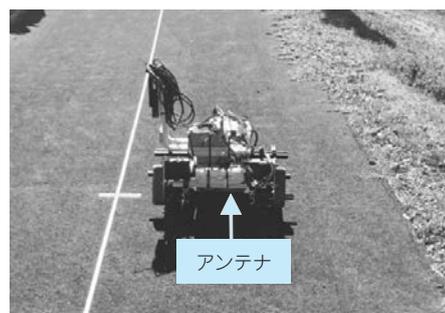


写真-3 ACR-S（探査測線：1測線）

人の手によるマニュアル走行に加え、遠隔での操作が可能のため、オペレータが護岸上を並走する必要がない。

クローラの幅を護岸のブロック幅で調整するとスリップ抑制になり、安定した走行ができ、あらかじめ測線をプログラムすることで、自律走行が可能となる。ただし、護岸勾配やレーダの配置状況（重心位置）によっては安定した走行が困難となる場合があるため、注意が必要である。

② カートロボット

自律型空洞探査ロボットと同様に緩勾配護岸での点検を目的に、遠隔移動式ロボットに接触式地中レーダを搭載した調査機器を開発した（表-2、写真-4）。カートロボットも自律走行が可能なた

表-2 カートロボットの仕様

| 項目 | 仕様 |
|---------|-------------------------------|
| 寸法 | 1,500 mm × 1,100 mm × 1,300 m |
| 探査測線 | 3 測線 アンテナ間隔変更可能 |
| 探査可能部材厚 | 0.8 m |



写真-4 カートロボット (探査測線：3 測線)

め、オペレータが護岸上を並走する必要がなく、また、段差は 10 cm 未満であれば乗り越えることができる。

アンテナを台車中央に配置することにより、タイヤがスリップすることなく安定して走行することができる。

③ 壁登りロボット

壁登りロボットは、4 輪駆動型のロボットに接触式地中レーダを搭載した急勾配護岸 (1 : 1.5 より急) での点検を目的としたロボットである (表-3, 写真-5)。護岸勾配が 90° 以下であれば、安定した走行が可能であり、護岸上部で補助員が並走することにより、斜面での作業が不要となる。

護岸表面に 1 ~ 2 cm 程度の凹凸がある場合、壁登りロボットの設置離隔 (車輪接地面とセンサー面の距離) は 1 cm 程度となり、縦断方向の計測センサーが護岸表面の凹凸と接触するが、計測に問題はない。また、計測にあたっては作業員のサポートが使用条件となることから、作業員の足場の確保や転落防止措置が必要である。

なお、植生が繁茂している場合には計測が困難であるため、事前に除草等、探査測線上に障害物がない状況にする必要がある。

表-3 壁登りロボットの仕様

| 項目 | 仕様 |
|---------|-------------------------|
| 寸法 | 600 mm × 580 mm × 500 m |
| 重量 | 5.0 kg |
| プロペラ | 2 重反転プロペラ |
| 駆動 | 4 輪駆動 |
| 探査測線 | 1 測線 |
| 探査可能部材厚 | 0.6 m |



写真-5 壁登りロボット (探査測線：1 測線)

④ 飛行ロボット

飛行ロボットは、ドローンに非接触式地中レーダを搭載したロボットである (表-4, 写真-6)。非接触式地中レーダを搭載しているが、飛行の安全性を確保するため離隔を確保する必要があり、接触式地中レーダと比較すると探査深度が浅い。また、非接触式レーダの向きを変えることにより、任意の角度での計測が可能である。

飛行型の特徴としては、飛行による搬入となることから機材の搬入は容易となり、作業員の立ち入りが困難な箇所であっても探査することが可能である。ただし、護岸とドローンの距離を一定に保つ必要があるため、操縦士のスキルに依存するところが大きく、誰もが容易に扱える探査機器ではないことに留意する必要がある。

表-4 飛行ロボットの仕様

| 項目 | 仕様 |
|----------|----------|
| モーター軸間距離 | 1,284 mm |
| プロペラ直径 | 534.4 mm |
| 最大ペイロード | 8.0 kg |
| 機体重量 | 7.0 kg |
| 飛行時間 | 10 分 |
| 探査測線 | 1 測線 |
| 探査可能部材厚 | 0.2 m |



写真-6 飛行ロボット（探査測線：1測線）

(2) 実証実験の結果

- ① 自律型空洞探査ロボット、
- ② カートロボット

緩勾配護岸を対象とした自律型空洞探査ロボット、カートロボットは、どちらも搭載したレーダの性能のとおり護岸背面空洞を検出することが可能であり、従来の人力による探査に比べ、探査時間を2倍以上縮減できることを確認した。

しかしながら、自律走行において走行測線のズレの修正の際に護岸の凹凸等によりスリップが発生することが見られた。また、10 cm以上の段差がある場合は、機器の乗り越え、計測が困難であった（図-4）。



地中レーダ記録（平面）

図-4 データ取得状況および地中レーダ画像

③ 壁登りロボット

急勾配護岸を対象とした壁登りロボットは、搭載したレーダの性能のとおり護岸背面の空洞を検

出することが可能であった。また、ロープによる補助を行うことで、急勾配面の走行も問題ないこと、急勾配護岸探査時の安全性の向上、コスト削減を図れることを確認した。

なお、緩勾配護岸への適用も可能であるが、1測線のための計測機器のため、人力による計測と作業効率等に大きな差異はない。

④ 飛行ロボット

飛行ロボットは風速3 m/s程度の環境下でも風にあおられ、機体が制御不能になる場合があり、安全性確保のために少なくとも対象との離隔を1 m以上確保する必要があることが分かった。

なお、搭載しているレーダ自体の探査性能は問題なく、対象との離隔が1 mの場合における探査可能部材厚は0.2 mであることを確認できたため、部材厚が比較的薄い緩勾配護岸が適用範囲となる（図-5）。

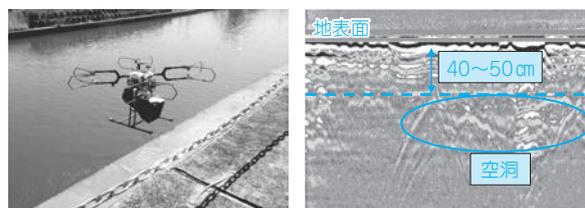


図-5 データ取得状況および地中レーダ画像

(3) 実証実験を踏まえた適用範囲

実証実験では、開発した機器全てで護岸構造物の空洞を確認することができた。また、今回の実証実験の結果から、現場条件や護岸の部材厚に応じた空洞化点検ロボットの使い分けが必要であることが判明した。実施にあたっての各ロボットの仕様、適用性を表-5に示す。

表-5 研究開発した機器の概要

| レーダ形式 | 接触式 | | 非接触式 | |
|------------|---------|---------|-------------|--------|
| ロボット名 | カートロボット | 壁登りロボット | 自律型空洞探査ロボット | 飛行ロボット |
| 適用範囲（護岸勾配） | 2割以下 | 制限なし | 2割以下 | 2割以下 |
| 探査可能部材厚 | 0.8 m | 0.6 m | 0.25 m | 0.2 m |

また、観測過程において、護岸背面の空洞調査を目的とした点検ロボットは、自動走行による長距離や広範囲にわたって実施することにまだまだ開発の余地があることが判明したことから、現状においては、護岸背面の空洞化点検は、施設的全区間を対象とせず、一次点検等を踏まえて、空洞が部分的に懸念される場合において実施することが推奨される。

理由として、同一構造の護岸が数百メートル以上連続する現場が限られていること、また一つのロボットで、さまざまな型式の護岸に対応できる技術を開発することは現状困難であり、かつ費用的にも割高となってしまい、調査に対する費用対効果が低くなることが理由として挙げられるためだ。

5. 今後の展開

革新的河川技術プロジェクト（第六弾）護岸構造物「空洞化点検の高度化」において実施した実証実験等を踏まえ、「護岸構造物空洞化点検マニュアル（素案）」を作成した。

開発した機器、マニュアルを活用することによ

り、これまで調査が困難であった箇所においても、安全かつ効率的に実施することが可能となり、維持管理水準の向上に寄与するものと考えられる。特に、急勾配護岸で適用可能な壁登りロボットを用いることで、今まで足場や仮設が必要であった箇所においても、作業員の安全性を確保しながら空洞化点検を実施することが可能となる。

一方で、壁登りロボットは機器上方からロープ等による補助が必要になるため、補助作業員が不可欠であることから他の空洞化点検ロボットよりもコスト面における課題が残る。また、飛行ロボットについては対象とレーダとの離隔を一定に保つ必要があるため、操縦者の熟練度等により探査精度にばらつきが生じてしまうことが分かった。緩勾配護岸を対象とした自律型空洞探査ロボットやカートロボットについても、重量が重いことや護岸の表面形状を要因とした走行性の不安定さといった課題があることが分かった。

今後、ドローン技術の発展による飛行ロボットの精度向上や開発機器のさらなる改良・開発によって軽量化等を図ることにより、安全性が確保され効率的かつ効果的な点検が実施可能となることが考えられる。