

河川砂防技術研究開発【開発成果概要】

	組 織 名 (ふりがな)	開発代表者名	役 職
①開発事業者	かぶしきがいしゃ おーる なつ と にほん 株式会社ウオールナット・日本 工営株式会社共同企業体	北澤 隆一	課長
②開発経費 (単位: 万円) ※端数切り捨て。	令和4年度 990 万円	令和5年度 990万円	総 合 計 1980 万円

③共同開発者氏名

氏 名	所属機関・役職 (※令和4年3月31日現在)
新 弘治	株式会社ウオールナット 技術開発室 課長
沖安 芳幸	株式会社ウオールナット 調査第一G 課長代理
松田 貞則	日本工営株式会社 河川水資源事業部 副事業部長
能美 享	日本工営株式会社 河川水資源事業部 水工インフラマネジメント部 部長
相川 信幸	日本工営株式会社 河川水資源事業部 水工インフラマネジメント部 課長
片岡 健吾	日本工営株式会社 大阪支店 流域水管理部

④開発の目的・目標

護岸構造物の背面空洞調査については、従来、目視や打音等による点検で異常が確認された箇所について、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、安全面でのリスクを抱えつつ、詳細な点検を実施されてきた。予防保全の観点から護岸表面等に大きな変状が発生する前に、護岸構造物全体を面的、広域に把握し、定期的に点検を実施していくことが求められている。そのため、護岸構造物背面の空洞化を自動検出する自動又は遠隔移動式機器および点検技術を開発する必要性が高まっており、これまで護岸空洞で実績のある電磁波を用いた地中レーダを利用した調査機器および点検技術の技術開発を提案する。



図-1 吹付法面非接触地中レーダ探査

当社は、これまで構造物背面の空洞を点検するためにトンネルや道路では地中レーダを車両に搭載し走行しながら面的、広域に空洞を探索する機器開発を行ってきた。吹付法面のような高所の探索においてはドローンに非接触地中レーダを搭載し飛行しながら空洞を探索する機器(図-1)を開発した。また、護岸においても効率化のために地中レーダを搭載したリモコン式GPS搭載走行台車(図-2)を開発し、いずれも実用化し実績をあげている。

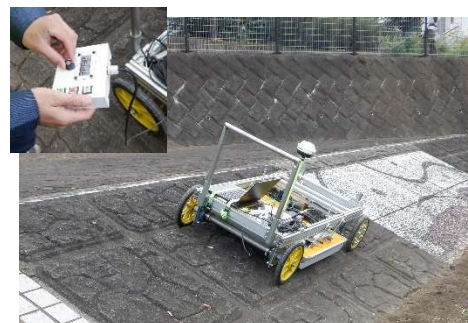


図-2 走行台車搭載地中レーダ探査

今回の護岸構造物の背面空洞化点検に対してもこれまでに開発した機器を応用することで、スピーディーに実現性の高い機器を開発することができる。急斜面にはドローンを使った機器を開発し、緩斜面には無線で走行する台車を開発することにより、目的を達成できると考えている。また、得られた地中レーダデータはデータ解析に経験ある専門技術者があたる必要があり、データ結果報告に時間がかかるという従来の点検技術での課題を有していたが、多測線探索したものをタイムスライスソフトウェアによるプログラミング開発することで平面図化し、面的に探索結果を把握することができるものになるとともに、社内で用いているIoTを利用したAI解析システムを利用することで早急な探索結果報告が可能になる。

⑤開発成果

R5年度実施項目

1. R4年度の現場実証実験からの手直し

1-1. 急勾配（壁登りロボット）

問題点：非接触アンテナと対象物の離隔 1mの時は、探査能力の低下を招く。

解決方法：非接触アンテナの探査能力を向上させる必要がある。

問題点：ドローンの安全性を考慮すると、対象物との離隔を 1m 以上取る必要がある。

解決方法：ドローンにセンサーを取り付け、電子制御等によりドローンと対象物との離隔を制御する。または、そのような制御機能を有した機体に変更する。



図-1.1 壁登りロボット

課題を整理する中で、別途検討を進めていた、図-1.1 に示すインフラ点検用壁面走行ロボットが、安全性、定量的な計測に優れている事がわかり、インフラ点検用壁面走行ロボットに切り換え対応した。

1-2. 緩勾配（カートロボット）

問題点：アンテナの重さにより台車が斜面をスリップする。

解決方法：下図に示すようにアンテナの位置の台車中央に配置する改良をおこなう。また、アンテナの位置の台車中央にすることで台車のコンパクト化が図れ、旋回性能を高めることが可能となる。

アンテナの設置位置を変え、装置を作り直した。スリップせずに安定した走行が可能になった。



図-1.2 計測ロボット

2. 解析ソフトウェア開発

2-1 解析用ソフトウェア

R4年度から先行して、開発していた、解析用ソフトウェアに改良を加えた。本ソフトウェアは、取得した複数測線の地中レーダ記録に関して、タイムスライス技術を用い平面画像化する「平面画像表示ソフトウェア」である。図-2.1 は実証実験で取得した調査結果を示す。空洞箇所見える化に寄与したと考える。

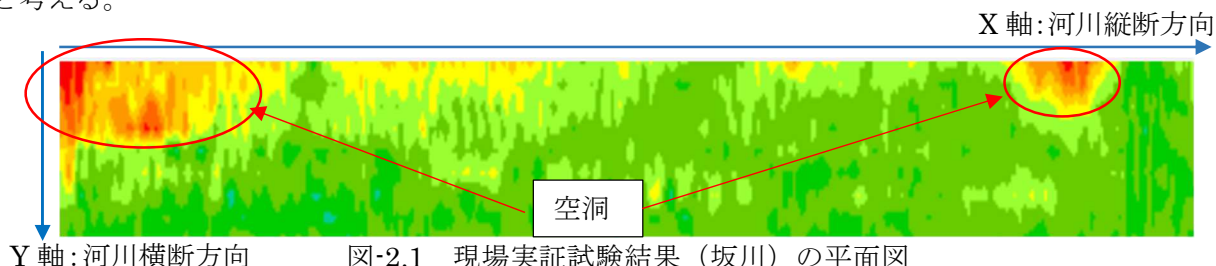


図-2.1 現場実証試験結果（坂川）の平面図

2-2. AI データ解析の検討

現場実証試験で得られた地中レーダデータを使用し、AI によるデータ解析を実施した。AI は（独）東京都立都産業技術研究センターと共同開発した道路下の空洞探査解析に用いている AI 解析ソフト「WISE」を使用し行った。また、適応する護岸形状により学習データ変える必要がある。現状では教師データが少なく、誤検出が多い結果となっているが、教師データを増やし再学習させることができれば、有効な手法になると思われる。

また別途、ディープラーニング以外の学習方法 GAN についても検討を実施した。坂川で取得したデータにより GAN での空洞抽出を行った。

その結果を図-2.2 に示す。空洞が存在している箇所は赤丸で囲われた箇所である。GAN の結果は折れ線グラフで示されており、折れ線が上に行くほど異質（空洞）の箇所である。実際の空洞位置と異なる箇所でのグラフが上がっている。データ（計測）延長が長くな

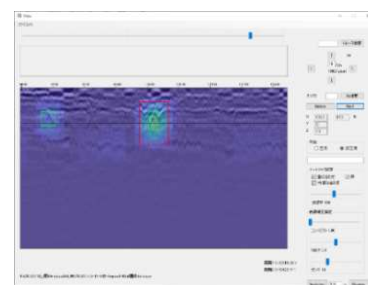


図-2.2 AI ソフト

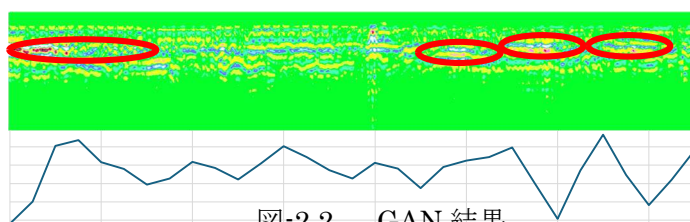


図-2.2 GAN 結果

ることにより、的中率は向上すると考えるが、今回実施した坂川の数 10m単位のデータに対し GAN の有効性は見られなかった。

3. 現場実証実験

3-1. 実証実験実施場所

河川護岸は、様々な形式を有しており、開発した機材の適用性を把握するため、石積み護岸、石張り護岸、連節ブロック護岸、法枠式護岸などを有している河川において、実証実験を行った。

年度	No.	実証実験場所	場所	実施期間	勾配
令和5年度	1	大場川	静岡県	令和5年5月17日	2割勾配・5分勾配
	2	高梁川	岡山県	令和5年10月4日	2割勾配
	3	旭川	岡山県	令和5年10月5日	5分勾配
	4	綾瀬川	東京都	令和5年12月18日	5分勾配
	5	坂川	千葉県	令和5年12月19日	2割勾配

図-3.1 実施箇所一覧

3-2. 実証実験結果

開発したロボットの名称整理を図-3.2 に示す。



壁登りロボット



カートロボット



飛行ロボット

図-3.2 ロボット名整理

実証実験を行った、諸元及びロボットの機動性、アンテナの能力一覧を図-3.3 に示す。

No.	河川名	都道府県	護岸形式	勾配	部材厚さ	使用機材	機動性	空洞検知
1	大場川	静岡県	コンクリート張り	2割勾配	20cm	飛行ロボット	△	△
			ブロック積	5分勾配	50cm	旧カートロボット	○	△
						壁登りロボット	○	○
2	高梁川	岡山県	ダイヤカット	2割勾配	20cm	飛行ロボット	○	○
						旧カートロボット	×	○
			石張り	2割勾配	25cm	飛行ロボット	○	○
						旧カートロボット	○	○
3	旭川	岡山県	石積み	5分勾配	60cm	飛行ロボット	○	×
						壁登りロボット	○	○
4	綾瀬川	東京都	ブロック積	5分勾配	50cm	飛行ロボット	○	×
						壁登りロボット	○	○
5	坂川	千葉県	コンクリート張り	2割勾配	20cm	現カートロボット	○	○

・急勾配護岸

様々な型式でも、壁登りロボットで、空洞化調査を効率的に実施する事が可能であることを検証した。計測の条件としては、調査対象護岸上面にアクセスできる上に、計測範囲を歩ける事。

・緩勾配護岸

護岸表面にある、凹凸が 10 cm未満であればカートロボットで計測が可能であることを検証した。10 cm以上ある場合には、飛行ロボットで対応が可能である。

4. 点検マニュアルの作成

4-1. マニュアルの作成目的

マニュアル作成にあたっては、河川砂防技術基準（河川維持管理編）」、「点検・評価要領」に基づき、河川護岸の点検・調査の実施状況を把握しつつ、本技術の適用ケースを想定した上で、効率的・効果的な現場での活用に資することを目的とした。

4-2. 適用範囲設定

護岸背面の空洞調査を行うにあたり、低水護岸や高水護岸の勾配や構造の特徴を考慮して開発点検ロボットの適用範囲について検討を行った。また、点検者がロボットの選定の一助になるように配慮した。

4-3. 参考歩掛

点検費用の算定にあたっては、点検計画の立案にあたっての経済的な支援を行うことを目的に、参考歩掛を作成しとりまとめた。

項目	種別	細別	単位	単価（円） （R6年度）	従来技術（人力）		新技術		摘要
					数量	費用（円）	数量	費用（円）	
観測費	直接 人件費	地質調査技師	人	53,200	1.0	53,200	1.0	53,200	
		主任地質調査員	人	41,500	1.0	41,500	0.0	0	
		地質調査員	人	31,400	1.0	31,400	1.0	31,400	
	材料費	消耗品	式	—	1.0	18,915	0.5	12,690	（直接人件費）×15%
	機器損料	レーダ探査装置	台日	—	0.5	—	0.5	—	装置によるので除外
測線設定費 ※材料費機器損料除く	直接 人件費	地質調査技師	人	53,200	0.5	26,600	0.25	13,300	
		地質調査員	人	31,400	0.5	15,700	0.25	7,850	
解析費	直接 人件費	主任技師	人	64,800	0.5	32,400	0.25	16,200	
		技師A	人	57,000	2.0	114,000	1.0	57,000	
		技師C	人	38,400	2.0	76,800	1.0	38,400	
		技術員	人	33,600	1.0	33,600	0.5	16,800	
	機器損料	AI解析装置	式	—	—	—	1.0	45,000	1業務あたり
	直接経費	解析消耗品費	式	—	1.0	2,568	1.0	1,284	（直接人件費）×1%
合計						446,683 円		293,124 円	
㎡あたり						993 円		651 円	
㎡あたり（解析除く）						416 円		216 円	

開発技術による点検コストは、現状の非破壊点検費用の半額程度に収めることができた。

（参考：人力によるレーダ探査、測線間隔 0.4m、勾配 2 割～の点検費用（解析費用含まず）
＝約 500 円/㎡（税抜き））